

В. И. Хомич

ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ



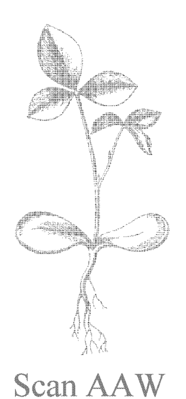
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 721

В. И. ХОМИЧ

ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ

Издание 3-е, дополненное и переработанное





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1989

6Ф2
Х 76
УДК 621.396.677.75:621.318.134

В. И. Хомич

Х 76 Ферритовые антенны, М., «Энергия», 1969.

96 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 721).

В брошюре рассмотрены вопросы применения и конструирования ферритовых антенн, описаны принцип действия и отличие их от электрических антенн. Приведено краткое описание антенных трансформаторов и симметрирующих устройств, связанных с применением ферритов в антенной технике.

Брошюра предназначена для подготовленных радиолюбителей.

$\frac{3-4-5}{325-69}$ 6Ф2

ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие радиоэлектроники наших дней неразрывно связано с использованием новых материалов. Достижения науки в области физики твердого тела, низких температур и кристаллографии в сочетании с совершенствованием технологии непрерывно приводят к появлению новых магнитных материалов, улучшению их свойств.

Наряду с улучшением параметров магнитных материалов практика их использования постоянно обогащается новыми идеями, внедрением в новые области.

Одной из таких областей является антенная техника. Ферритовые антенны в настоящее время являются обязательным элементом каждого радиовещательного приемника. Они успешно используются в специальных радиоприемных устройствах, где применяются для определения направления прихода радиоволн, а также в некоторых типах передатчиков. Ферритовые антенны хорошо работают в условиях непосредственной близости к проводящим металлическим поверхностям, например плоскости самолета или палубе корабля.

Широкое распространение ферритовых антенн обусловлено рядом положительных качеств: малыми габаритами, простотой их изготовления и настройки, наличием направленных свойств, относительно высокой эффективностью и другими ценными свойствами. Сердечники ферритовых антенн в широком ассортименте изготовляются нашей промышленностью, что раскрывает заманчивые перспективы конструирования радиолюбителями новых типов антенн.

Прототипом современных ферритовых антенн является рамочная антенна — замкнутый виток провода, длина которого много меньше длины принимаемой волны.

Рамочные антенны одними из первых стали применяться в радионавигации, причем в качестве передающих антенн радиомаяков. Использование направленных свойств передающих рамочных антенн позволяло кораблям определять по этим радиомаякам свое местонахождение в открытом море, проходить опасные для судоходства места. Рамочные антенны применялись и в качестве приемных. Их достоинствами на длинно- и средневолновом диапазоне являлись относительно малые размеры, возможность настройки в резонанс и вследствие этого высокая эффективность. Рамочные маяки получили повсеместное распространение и использовались вплоть до конца 30-х годов, когда им на смену пришли более современные навигационные системы и радар. В период наивысшего расцвета этих антенн возникли первые идеи по замене рамочных воздушных антенн рамками с сердечниками из магнитных материалов. Введение внутрь рамки магнитного сердечника должно было увеличить магнитный поток в ней, а следовательно, и ее эффективность. Уже в 1909 г. появляются первые теоретические работы, посвященные исследова-

нию особенностей распространения электромагнитных волн в магнитных сердечниках.

Практическое применение антенн с ферромагнитными сердечниками сдерживалось в первую очередь отсутствием материалов, сочетавших высокую магнитную проницаемость и малые потери на радиочастотах. Тем не менее в середине 30-х годов антенны с сердечниками находят себе применение в самолетных навигационных устройствах — полурадиокомпасах. Невзирая на недостаточную эффективность магнитных антенн того периода, их с успехом применяли для выполнения задачи привода самолета на аэродром.

Свое второе рождение магнитные антенны пережили уже после Второй мировой войны В 1946 г. почти одновременно в Голландии и Японии были получены новые магнитные материалы — ферриты, которые позволили сделать новые шаги в применении магнитных антенн Поскольку ферриты заняли исключительное место среди прочих материалов, применявшихся в сердечниках антенн, последние получили название ферритовых антенн.

Широкую известность малогабаритные ферритовые антенны впервые получили в качестве антенн транзисторных карманных приемников в начале 50-х годов. Применение ферритовых антенн в сочетании с улучшением параметров полупроводниковых приборов позволило увеличить чувствительность приемников как прямого усиления, так и супергетеродинов. Карманные и переносные приемники стали самыми массовыми. Простота их устройства привлекает начинающих радиолюбителей — многие из них первые свои опыты начинают с конструирования транзисторных приемников. Миниатюрные и экономичные, они являются надежными спутниками туристов в проходах, порой являясь единственным средством связи с внешним миром.

Малые размеры транзисторных приемников в сочетании с направленными свойствами ферритовых антенн привели к появлению и развитию увлекательного радиоспорта — «охоты на лис».

К середине 50-х годов ферритовые антенны начинают «встраивать» в настольные и консольные радиовещательные приемники сначала как дополняющие обычные комнатные антенны, а затем как универсальные антенны. Уже к 1962 г. 98% всех выпускаемых в Западной Европе приемников имели лишь ферритовые антенны.

Широкая эксплуатация ферритовых антенн в приемниках позволила выявить еще одно ценное присущее им качество — относительно низкую чувствительность к электрическим помехам, которых особенно много в больших городах (трамваи и троллейбусы, электросварка, рентген и т. д.).

Дальнейшее развитие получают к этому времени и специальные приемные ферритовые антенны. Они используются в качестве пеленгационных антенн на судах и подвижных объектах, позволяя получить высокую точность и малые размеры антенных систем. В настоящее время ферритовые антенны работают почти на всех диапазонах радиоволн — от сверхдлинных до СВЧ.

Большой интерес представляют попытки использования ферритовых антенн в качестве передающих. Пока такие антенны использовались лишь в ограниченных случаях, например, в спасательных передатчиках, предназначенных для обозначения местонахождения потерпевших бедствие на море. К таким передатчикам предъявляются весьма высокие требования: малый вес и размеры, большая экономичность и надежность в работе. В этих тяжелых условиях фер-

ритовые антенны зарекомендовали себя наиболее эффективными, выдержав сравнение с обычными электрическими антеннами.

В своем кратком очерке истории ферритовых антенн мы стремились показать многообразие их применения в современной радиотехнике. Еще более заманчивыми являются перспективы дальнейшего развития ферритовых антенн.

Большой интерес представляет разработка встроенной телевизионной антенны, антенны автомобильного приемника, новых конструкций антенн приемников для охоты за «лисами» и т. д.

В настоящем, 3-м издании книги дается описание некоторых конструкций, направленных на разрешение этих задач. Кроме этого, рассматриваются вопросы, возникающие в связи с применением передающих ферритовых антенн, а также расширены разделы, касающиеся измерений и расчета параметров ферритовых антенн.

Помимо описаний оригинальных конструкций, рассказывается о последних технических достижениях в области конструирования ферритовых антенн, описания которых появлялись в периодической печати за время, прошедшее с момента выхода 2-го издания.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

1. Принцип действия и основные характеристики ферритовых аитенн

Ферритовую антенну и любую антенну вообще можно рассматривать как трансформатор, осуществляющий преобразование между направляемыми фидерной системой и свободно распространяющимися электромагнитными волнами.

По характеру трансформации антенны условно можно разделить на *электрические* и *магнитные*.

Электрические антенны — это любая разомкнутая система проводников, в которой под действием электромагнитного поля возникает разность электрических потенциалов. Простейшей электрической антенной является диполь Герца, представляющий собой два коротких проводника.

Магнитные антенны — это любая замкнутая система проводников или любое ферромагнитное тело, в котором под действием электромагнитного поля возникает разность магнитных потенциалов [1].

Если электрическая энергия в проводнике непосредственно может использоваться приемником, то энергия магнитного диполя должна быть еще трансформирована в электрическую энергию. Этой цели служит магнитоприемник, в котором осуществляется переход магнитной энергии в электрическую.

Наиболее распространенным магнитоприемником являются витки провода, намотанные вокруг магнитного тела. В этом случае ферромагнитное тело носит название сердечника, витки провода—антенной катушки (рис. 1). Если сердечник изготовлен из феррита (неметаллического ферромагнетика), то такая магнитная антенна называется ферритовой антенной.

Эффективность антенны определяется соотношением между напряженностью поля и э. д. с., наводимой этим полем в антенне. Этот параметр носит название действующей высоты антенны и является основным для приемной антенны. Для диполя Герца действующая высота равна его геометрической длине. Зная действующую высоту антенны h и напряженность в месте приема E, всегда можно определить ε — э. д. с. в антенне

$$\varepsilon = hE.$$

Эффективность ферритовой антенны определяется свойствами сердечника (материалом и размерами сердечника) и данными магнитоприемника (его конструкцией). Она зависит также от частоты сигнала — при прочих равных условиях эффективность ферритовой

[1] Приведенная классификация не верна для большинства антенн СВЧ диапазона.

антенны увеличивается с частотой. Следует отметить, что эффективность ферритовой антенны может увеличиваться почти вдвое от присутствия вблизи нее проводящей поверхности в отличие от электрических антенн, где близкое расположение поверхности уменьшает эффективность антенны.

Для оценки эффективности передающих антенн чаще употребляется другой параметр—коэффициент усиления или выигрыш, который представляет собой произведение к. п. д. *антенны* на коэффициент направленного действия. *Коэффициент полезного действия* антенны определяется отношением мощности, излучаемой антенной, к общей мощности электрической энергии, питающей антенну.

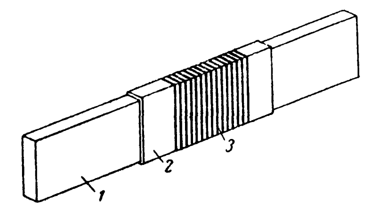


Рис. 1. Ферритовая антенна.
1 — сердечник; *2* — каркас; *3* — обмотка.

Коэффициент направленного действия — более сложное понятие — он определяет направленные свойства антенны. Как уже отмечалось, направленность ферритовых антенн послужила одной из причин их широкого распространения. Остановимся на этих свойствах подробнее.

Представим себе передающую ферритовую антенну, расположенную в свободном пространстве (т. е. на достаточном удалении от других проводников), таким образом, что ее ось проходит параллельно земной поверхности. Под осью антенны понимают прямую, совпадающую с направлеием магнитного потока в сердечнике.

Антенная катушка питается током от источника высокочастотных колебаний. При этом вокруг антенны образуется электромагнитное поле. Значения напряженности электрического поля в точках пространства, находящихся на равном удалении от источника поля, будут разными. В частности, в плоскости, перпендикулярной оси антенны, она максимальна, в направлениях, совпадающих с осью, — минимальна. Если изображать относительную величину напряженности поля в том или другом направлении длиной отрезка, начинающегося в точке *О*, то другой его конец опишет пространственную фигуру, называемую диаграммой направленности. Если антенна излучает равномерно по всем направлениям (такая антенна называется изотропным излучателем), то диаграмма направленности имеет вид шара. Пространственная диаграмма направленности ферритовой антенны представляет собой тороид—фигуру (рис. 2,*а*), получающуюся при вращении окружности вокруг касательной, совпадающей с осью антенны. В ряде практических случаев более удобно представлять диаграмму направленности в виде сечения пространственной фигуры плоскостью. Диаграмма направленности ферритовой антенны в плоскости, включающей ось ее (в плоскости *H*), будет представлять собой «восьмерку» — две касающиеся друг друга окружности (рис. 2,*б*). В плоскости, перпендикулярной оси (в плоскости *E*), диаграмма имеет вид окружности (рис. 2,*в*). Если антенна параллельна поверхности земли, то «восьмерка» также лежит в горизонтальной плоскости и излучение антенны неравномерно.

Коэффициентом направленного действия антенны называется отношение квадрата напряженности поля в направлении максимума излучения, создаваемого ферритовой антенной, к квадрату напряженности поля изотропного излучателя при условии, что излучае-

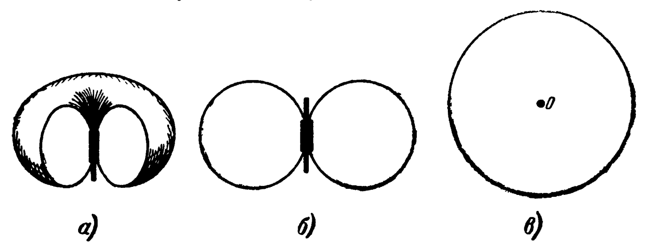


Рис. 2. Диаграммы направленности ферритовой антенны
а — пространственная; б — в плоскости *H*; в — в плоскости *E*.

мые мощности одинаковы и измерения поля производятся на одном и том же расстоянии от антенны.

Форма диаграммы направленности имеет важное значение и для приемных антенн. Наличие четкого минимума приема у ферритовой антенны позволяет ослабить мешающий сигнал. На рис. 3 показано, как, пользуясь диаграммой направленности, можно принимать сигнал при наличии мешающей станции. Способность «отстраиваться» от мешающих станций с помощью диаграммы направленности называется пространственной избирательностью ферритовой антенны.

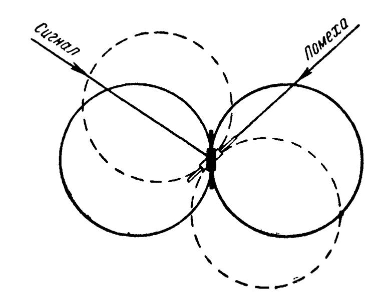


Рис. 3. Направленный прием ферритовой антенной.

Говоря о характеристиках ферритовой антенны, необходимо отметить высокие резонансные свойства контура, в который в качестве индуктивности входит ферритовая антенна. Это позволяет в случае приемной антенны в 100 и более раз усиливать э. д. с. антенны. Резонансные свойства антенны оцениваются добротностью магнитоприемника Q, которая зависит в свою очередь от соотношения между его реактивным и активным сопротивлениями и определяется в основном свойствами сердечника.

Дальнейшее рассмотрение главных параметров ферритовых антенн возможно лишь после детального ознакомления с конструкциями магнитоприемников и свойствами сердечников, которые рассматриваются далее.

2. Свойства ферритов

Появлению ферритов предшествовало длительное развитие магнитных материалов, история которых уходит в далекое прошлое.

Открытие и промышленное применение переменного тока в прошлом веке потребовали разработки специальных материалов,

пригодных для создания мощных магнитных полей. Таким материалом явились железо и его сплавы. Появление телеграфии и телефонии, использовавших слабые электрические токи более высоких частот, предъявило новые требования к магнитным материалам, а начавшееся в нашем столетии развитие радиотехники привело к необходимости еще выше поднять частотную границу магнитных материалов.

В соответствии с повышением требований техники развивались и совершенствовались магнитные материалы. От сплошных металлических сердечников переходили к пластинчатым, ленточным проволочным сердечникам с целью уменьшения потерь на вихревые токи.

Другим путем уменьшения потерь в сердечниках явилось применение магнитодиэлектриков — материалов, в которых частицы размельченного ферритового вещества разделены между собой диэлектриком. К числу таких материалов принадлежат широко известные альсифер и карбонильное железо. Использовался некоторое время для изготовления магнитодиэлектриков и порошок магнитной руды — магнетит.

Несмотря на успехи в развитии магнитных материалов, они до недавнего времени (примерно до 1946 г.) не могли удовлетворить требованиям, предъявляемым к ним электроникой. Лишь появление ферритов, сочетающих в себе высокие магнитные свойства с большим удельным сопротивлением, указало путь дальнейшего развития магнитных материалов.

Свойства ферритов тесно связаны с кристаллической решеткой — строго определенным размещением атомов (ионов), отчего во многом зависят физические свойства материалов: твердость, хрупкость и т. п. В состав всех ферритов входят анионы кислорода, образующие остов их кристаллической решетки. В промежутках между анионами кислорода располагаются катионы трехвалентного железа и катионы характеризующих металлов различной в общем случае валентности. Существующие между катионами и анионами силы притяжения и силы отталкивания между ионами с одинаковым знаком электрического заряда приводят к определенному порядку в их расположении, зависящему от соотношения между количествами ионов различного типа, их размерами и характером атомного взаимодействия. Это значит, что от состава феррита и рода характеризующего иона зависит присущая ему кристаллическая структура.

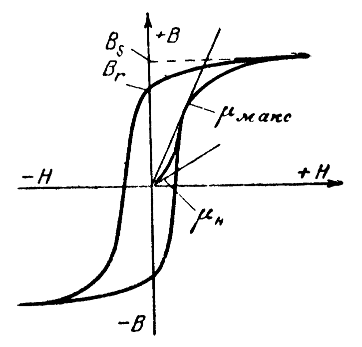
Наиболее часто в качестве характеризующего иона выступают следующие металлы: марганец, магний, цинк, медь, никель, кобальт.

Большинство изготовляемых промышленностью оксидных ферромагнетиков представляет собой смешанные ферриты — твердые растворы двух или более простых ферритов (простым ферритом называют феррит с одним типом характеризующего иона).

Технология изготовления сердечников из ферритов мало отличается от технологии производства изделий из керамики. Существуют два метода приготовления ферритовых масс: один—смешением окислов металлов, другой — смешением растворов солей. По первому методу окислы смешивают в определенном соотношении, прессуют в брикеты и обжигают при температуре 800—1 100° С. По второму методу смешанные растворы солей выпариваются, прокаливаются для получения смеси окислов и далее, как при первом методе, прессуются и обжигаются. Второй метод позволяет получить более вы-

сокие магнитные характеристики материалов с меньшим технологическим разбросом.

Брикеты, прошедшие предварнтельный обжиг, далее размалываются в порошок в шаровых илн вибрационных мельницах. Полученный порошок после рассева идет для приготовлення пресс-массы. В пресс-массу вводится пластификатор (поливнниловый спирт, парафин), количество которого зависнт от технологии дальнейшей обработкн материалов: прн протяжке и литье добавляется 10—15% поливинилового спирта, а прн прессовании 6—8%; температура окончательного обжига изделий нз ферритов зависит от марки феррита н лежит в пределах 900—1 400° С. Обжиг ферритов обычно ведется в окислительной среде, но марганцевые ферриты обжигаются в нейтральной среде — в вакууме.



Рнс. 4. Петля гистерезиса.

В зависимости от технологии изготовления усадка сердечников из ферритов при обжиге может достигать 15%. Незначительные отклонения температуры обжига изменяют электрические и магнитные свойства феррнтов и величину усадки. Поэтому для получения сердечников с однородными свойствами и с размерамн в пределах допусков требуется строгое соблюдение режима обжига. Ферриты почти не поддаются механической обработке, их можно обрабатывать только абразивами, например корундом. Механическая обработка ферритов на станках может привести к утрате магнитных свойств феррнтов — резкому увелнчению потерь, снижению проницаемостн.

Ферриты относятся к классу полупроводников и в зависимости от состава и технологии нэготовлення могут нметь удельное сопротивление электрическому току от 10^2 до 10^8 *ом/см*. В то же время магнитные металлические материалы имеют сопротивленне порядка $(10—15)\cdot 10^{-6}$ *ом/см*. Благодаря высокому удельному сопротивлению катушки с сердечникамн из ферритов могут иметь очень большую добротность, превышающую 500 на ннзких частотах и 300 на частотах 500—1 000 *кгц*.

Основной характеристикой магнитного материала является магнитная проннцаемость μ. Под воздействием поля напряженности H в матернале возникает магнитная индукция B, измеряемая в снстеме СИ в теслах (1 *тл*=10 000 *гс*). Таким образом, магнитная проницаемость вещества служит как бы коэффициентом пропорциональности между напряженностью и индукцией. На практике проницаемость вещества оценивается относнтельной величиной (по отношению к магнитной проницаемости вакуума) и является безразмерной.

Магнитную проницаемость феррнтов можно считать постоянной лишь в первом, грубом приближении. В действительности она зависит от формы тела, амплитуды приложенного поля, частоты, наличия и величины постоянного магнитного поля, температуры и магнитной предистории материала.

Наиболее существенна зависимость магнитной проницаемости от величины намагничивающего поля.

На рис. 4 приведена основная характеристика магнитного материала — петля гистерезиса, показывающая зависимость индукции *B* от напряженности намагничивающего поля *H*. Величина магнитной проницаемости μ определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой индукции и изменяется в зависимости от намагничивающего поля в значительных пределах. Для ферритов, используемых в приемных антеннах, наибольшее значение имеет начальная магнитная проницаемость $\mu_н$ — проницаемость материала при очень малых значениях напряженности намагничивающего поля.

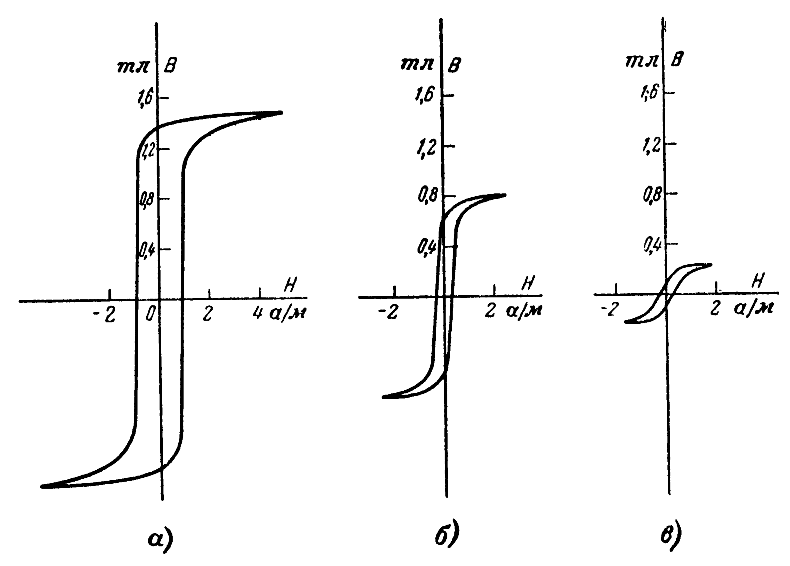


Рис. 5. Кривые гистерезиса магнитных материалов.

Площадь петли гистерезиса характеризует магнитные потери материала (потери на гистерезис), величина B_r—остаточную индукцию, а B_s — индукцию насыщения. В зависимости от особенности петли гистерезиса ферриты делятся на магнитномягкие и магнитножесткие. Высокое отношение B_r/B_s важно для магнитных переключателей, применяющихся в счетно-решающих устройствах и магнитных усилителях, и является характерным для магнитножестких ферритов. И, наконец, последняя величина, указанная на рисунке, $\mu_{макс}$ называется максимальной проницаемостью, значение которой весьма существенно для строчных трансформаторов, дросселей и других устройств, работающих при больших напряженностях поля.

На рис. 5 показаны типичные кривые гистерезиса основных магнитных материалов: трансформаторной стали (5,*а*), пермаллоя (5,*б*) и феррита (5,*в*), применяющихся в электротехнике. Эти кривые характеризуют основные особенности указанных материалов. В частности, для магнитномягкого феррита характерны относительно малые

величины проницаемости и индукции насыщения B_s и почти полное отсутствие остаточной индукции B_r.

Из-за высокого удельного сопротивления ферритов потери на вихревые токи в них практически отсутствуют, площадь петли гистерезиса мала и преобладающими являются потери на последействие или магнитную вязкость, возрастающие с частотой. *Магнитной вязкостью* называют свойственное ферритам явление отставания изменений индукции от изменений напряженности магнитного поля

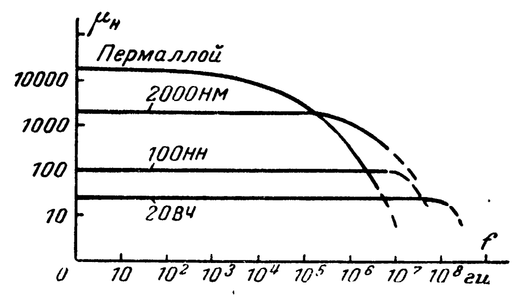


Рис. 6. Зависимости μ от частоты.

или, образно говоря, «инерционность» перемагничивания. Частота, при которой начинаются резкое возрастание потерь и падение проницаемости, называется граничной или критической. На рис. 6 приведены зависимости магнитной проницаемости различных магнитных материалов от частоты.

Недостаток ферритов — низкая температурная стабильность, т. е. магнитная проницаемость их изменяется вместе с изменением окружающей температуры. Степень изменения проницаемости оценивается температурным коэффициентом проницаемости α_μ, показывающим относительное изменение проницаемости при изменении температуры на один градус.

На рис. 7 приводятся типичные кривые, характеризующие изменение магнитной проницаемости и частично потерь (произведение μQ) с ростом температуры. Как видно из этого рисунка, проницаемость ферритов с ростом температуры сначала медленно растет, а затем круто падает в области, близкой к 80—130° С. Температура, при которой наступает потеря магнитных свойств, называется точкой Кюри. Величина этой температуры зависит от химического состава ферритов (у марганцевых ферритов, например, она несколько выше, чем у никельцинковых), а также от режима обжига. В области низких температур (ниже нуля) магнитная проницае-

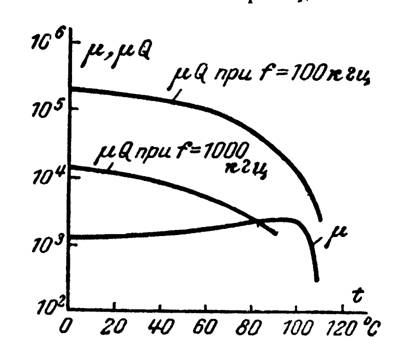


Рис. 7. Температурные характеристики ферритов.

мость ферритов быстро падает. Исключение составляют лишь ферриты типа граната, сохраняющие высокие магнитные свойства даже при температуре до —190° С. Магнитные потери ферритов, так же как и проницаемость, зависят от величины поля и конфигурации сердечника. Значение магнитных потерь материала оценивается обычно тангенсом угла потерь $\operatorname{tg}\delta$ — величиной, обратной добротности эталонной тороидальной катушки.

Более общий метод учета потерь в магнитном материале осуществляется с помощью введения мнимой части в величину магнитной проницаемости. Тогда магнитная проницаемость выражается комплексной величиной

$$\dot{\mu} = \mu' + j\mu'',$$

где μ' отображает собственно магнитную проницаемость тела, а μ'' — величину магнитных потерь, выраженную через магнитную проницаемость, т. е.

$$\mu'' = \mu' \operatorname{tg}\delta.$$

Диэлектрическая проницаемость ферритов, как правило, имеет большие значения лишь на низких частотах — от тысяч (для никельцинковых ферритов) до десятков тысяч (у марганцевых ферритов). Характерной особенностью диэлектрической проницаемости ферритов является ее зависимость от частоты; она уменьшается сначала резко до величины порядка нескольких десятков, а затем монотонно падает до 10—15 в области граничных частот.

В табл. 1 и 2 приведены параметры основных отечественных ферритов, которые могут быть использованы в качестве сердечников магнитных антенн. Приводимые в таблице данные получены на тороидальных катушках с однородной намоткой, обеспечивающей наиболее однородное замкнутое поле.

В эту таблицу не вошли данные новых магнитных материалов феррокспланов, имеющих большие перспективы применения в диапазоне метровых и дециметровых волн. Феррокспланы (неметаллические ферромагнетики с гексагональной кристаллической решеткой) по сравнению с ферритами обладают повышенной магнитной проницаемостью на частотах свыше 100 *Мгц*. По своему химическому составу они еще ближе к керамике, нежели ферриты, так как в их составе процентный вес железа значительно более низок, чем у ферритов. Магнитная проницаемость феррокспланов не превышает нескольких десятков. На рис. 8 приведены характерные кривые зависимости μ и $\operatorname{tg}\delta$ от частоты одного из феррокспланов (по данным зарубежной печати).

Приведенные выше данные магнитных и электрических свойств ферритов характеризуют их лишь в самом общем виде. Интересным является поведение этих магнитных материалов за границами обычных условий. Поэтому остановимся на некоторых особенностях поведения ферритов вне нормальных условий применения, которые могут быть использованы и уже используются на практике.

Прежде всего рассмотрим более широко частотные характеристики ферритов, имея в виду изменение их магнитной проницаемост и величины потерь в большом диапазоне частот, в том числе и за пределами граничной частоты, так называемые магнитные спектры ферритов.

Общим для всех ферритов является резкий спад магнитной проницаемости, которому предшествует обычно рост потерь. Возра-

Таблица 1

Параметры никельцинковых ферритов

Параметр	Марка ферритов									
	2000 НН	1000 НН	600 НН	400 НН	200 НН	150 ВЧ	50 ВЧ2	30 ВЧ2	20 ВЧ	10 ВЧ1
Начальная магнитная проницаемость	$2\,000^{+400}_{-200}$	1 000	600^{+200}_{-100}	400^{+100}_{-50}	200^{+50}_{-70}	150	50^{+10}_{-5}	30	20^{+8}_{-2}	10
Относительный температурный коэффициент начальной магнитной проницаемости в интервале температур от 20 до 70° C $\cdot 10^6$ *град*$^{-1}$	3—9	5—15	6—15	5—15	4—10	±4,0	От —1,0 до +2,0	±35	±5	+120
Граничная частота при $\operatorname{tg}\delta = 0{,}1$, *Мгц*	0,02	0,4	1,2	2,0	3,0	25	70	200	100	250
Граничная частота при $\operatorname{tg}\delta = 0{,}02$, *Мгц*	—	—	0,2	0,7	1,0	15	35	100	55	200
Магнитная индукция при $H_м = 800$ *а/м*, *тл*	0,25	0,32	0,31	0,23	0,17	0,35	0,31	0,29	0,105	0,135

Параметр	Марка ферритов									
	2000 НН	1000 НН	600 НН	400 НН	200 НН	150 ВЧ	50 ВЧ2	30 ВЧ2	20 ВЧ	10 ВЧ1
Максимальная магнитная проницаемость $\mu_м$	7 000	3 000	1 600	800	300	—	170	120	50	40
Напряженность магнитного поля при $\mu_м$ *а/м*	12	32	56	80,0	160	—	80	1 200	1 600	3 680
Остаточная магнитная индукция B_r, *тл* (не более)	0,12	0,15	0,14	0,12	0,1	0,17	0,2	0,16	0,045	0,08
Коэрцитивная сила H_c, *а/м* (не более)	8	20	32	0,64	12,0	240	448	720	800	1 600
Относительный коэффициент потерь на гистерезис на частоте 0,1 *Мгц*$\cdot 10^{-6}$ . . .	1,1	1,3	2,0	0,8	12,0	8	5	0,3	2	—
Точка Кюри, °С (не ниже)	70	110	110	100	100	400	450	450	450	450
Изменение начальной магнитной проницаемости за 1 год, % (не более) . . .	+2	±2	±2	±2	±2	±1	±0,5	±0,5	±0,5	—

Таблица 2

Параметры марганеццинковых ферритов

Параметр	Марки ферритов							
	6000 НМ	4000 НМ	3000 НМ	2000 НМ	1500 НМ	1000 НМ	700 НМ	1500 НМ2
Начальная магнитная проницаемость	6 000	4 000$^{+800}_{-500}$	3 000$^{+500}_{-}$	2 000$^{+500}_{-300}$	1 500$^{+200}_{-300}$	1 000$\pm$200	700$\pm$200	1 500
Относительный температурный коэффициент начальной магнитной проницаемости в интервале температур от 20 до 70° С, 10^{-6} *град*$^{-1}$	0,2—1,5	0,5—1,5	1,0—2,0	от —2 до $\pm$4,5	от —1,1 до +7,0	от —0,5 до +8,5	от —0,2 до 0,7	$\pm$0,6
Граничная частота при $\operatorname{tg}\delta = 0{,}1$, *Мгц*	0,005	0,1	0,2	0,45	0,6	1,0	5,0	0,8
Граничная частота при $\operatorname{tg}\delta = 0{,}02$, *Мгц*	—	0,005	0,015	0,08	0,15	0,5	3,0	0,6
Магнитная индукция при $H = 800$ *а/м, тл*	0,35	0,36	0,38	0,39	0,35	0,35	0,39	0,3

2—2212

Продолжение табл. 2

Параметр	Марки ферритов							
	6000 НМ	4000 НМ	3000 НМ	2000 НМ	1500 НМ	1000 НМ	700 НМ	1500 НМ2
Максимальная магнитная проницаемость $\mu_м$	10 000	7 000	3 500	3 500	—	1 800	2 000	1 800
Напряженность магнитного поля H при $\mu_м$, *а/м*	12	16	20	20—	—	40	128	—
Остаточная магнитная индукция, *тл* (не более) . .	0,11	0,13	0,15	0,14	—	0,11	0,05	—
Коэрцитивная сила, *а/м* (не более)	8	8	12	16	20	28	24	20
Относительный коэффициент потерь на гистерезис на частоте 0,1 *Мгц*$\cdot 10^{-6}$	0,04	0,07	0,13	0,17	0,23	0,37	0,04	—
Точка Кюри, °С (не ниже)	110	140	140	200	200	200	240	180
Изменение начальной магнитной проницаемости за 1 год, %	—	±2	±5	±5	±5	±5	±3	—

стание потерь сменяется затем некоторым их уменьшением, иначе говоря, изменение потерь в некотором интервале частот носит резонансный характер.

Современная теория ферромагнетизма объясняет природу этого своеобразного явления свойствами доменов — областей магнитного материала, в которых магнитные моменты отдельных частиц имеют предпочтительную направленность. Границей между доменами («стенкой» домена) считается район, в котором предпочтительная ориентация частиц в одном домене сменяется другой. На стенку домена, помимо переменного магнитного поля, воздействуют силы кристаллической решетки (упругие силы) и силы инерции, вследствие чего на определенной частоте в этой системе возможно возникновение упругих колебаний. Упругие колебания или релаксация доменов (если потери велики) проявляются в виде поглощения энергии, т. е. увеличения потерь и отставания по фазе индукции от напряженности H. Это явление называют резонансом доменных границ.

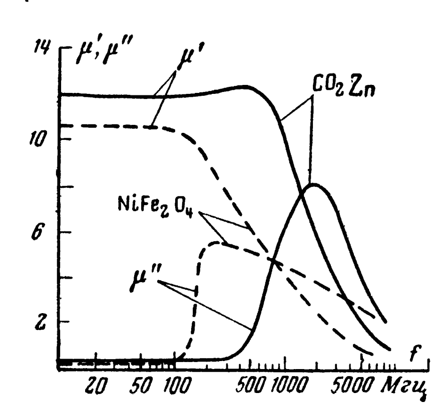


Рис. 8. Характеристики феррокспланов.

С прикладной точки зрения наибольший интерес вызывает не поведение потерь, а сопутствующее этому резонансу падение величины магнитной проницаемости. Плавное уменьшение магнитной проницаемости с ростом частоты представляет собой уникальное свойство ферритов, позволяя увеличить диапазонность отдельных элементов антенных цепей (трансформаторов, антенных задержек и т. п.).

Помимо резонанса на крутизну спада частотной зависимости проницаемости разнотипных ферритов влияют указанные выше факторы: вихревые токи, гистерезис, магнитная вязкость. Действие этих факторов приводит к монотонному падению проницаемости, к росту потерь. При конструировании элементов антенных цепей с использованием ферритов за пределами граничной частоты всегда нужно выбирать материал, обеспечивающий малое изменение реактивного сопротивления при значительных изменениях частоты.

Многообразие свойств ферритов ведет к открытию новых технических возможностей. Так, например, недавно открыты и ныне широко используются сегнетоэлектрические свойства некоторых ферритов. Разработка ферритов, обладающих ярко выраженными сегнетоэлектрическими свойствами, позволит значительно более просто преобразовать энергию магнитного поля в электрическую энергию и наоборот.

Большое внимание уделяется исследованию эффекта Холла (появление в некоторых полупроводниках э. д. с., величина которой пропорциональна величине магнитного поля). Ферритовые сердечники в устройствах, использующих эффект Холла, играют роль

концентратов высокочастотного магнитного поля и при достаточно высокой чувствительности датчиков могут найти применение в качестве антенн.

3. Сердечники магнитных антенн

Свойства магнитных тел во многом зависят от их формы. Данные о магнитной проницаемости, приведенные в табл. 1 и 2, характеризуют начальную проницаемость $\mu_н$ тороидальных сердечников. Сердечники ферритовых антенн имеют вытянутую форму, т. е. длина их значительно превосходит любой из поперечных размеров. Другой отличительной особенностью антенных сердечников является наличие воздушного зазора между концами (полюсами). Магнитная проницаемость таких тел зависит от соотношения между длиной и площадью сечения сердечника.

Объяснение этой зависимости может быть дано, исходя из самой природы магнетизма. В ферромагнитном теле под действием намагничивающего поля происходит переориентация магнитных моментов ферромагнитных частиц таким образом, что положительные полюсы смещаются в направлении внешнего поля, а отрицательные — навстречу ему. Ориентированные частицы создают дополнительное магнитное поле, противодействующее внешнему полю. Величина дополнительного или размагничивающего поля определяется размерами тела: чем тело короче по сравнению с поперечными размерами, тем больше сказывается влияние размагничивающего поля. Учет влияния этого поля относительно прост лишь для эллипсоидальных сердечников и выражается введением коэффициента размагничивания N, зависящим от соотношения между большой и малой осями эллипсоида. Величина размагничивающего коэффициента изменяется от 0 (для бесконечно длинного эллипсоида) до $4\pi/3$ (для шара). Магнитная проницаемость тела с учетом его формы и размеров называется эквивалентной проницаемостью $\mu_{экв}$. Она измеряется в относительных единицах и показывает, во сколько раз увеличивается плотность магнитного потока в данном теле по сравнению с плотностью потока в вакууме.

Эквивалентная проницаемость эллипсоида определяется следующей простой формулой:

$$\mu_{экв} = \frac{\mu_н}{1 + \frac{N}{4\pi}(\mu_н - 1)}.$$

На практике сердечники антенн в подавляющем большинстве случаев имеют форму, отличную от эллипсоида (цилиндрическую, параллелепипеда, призмы). Поправку на форму сердечника можно определить либо по экспериментальным кривым, выражающим зависимость $\mu_{экв} = f(l/d)$ при различных $\mu_н$ (рис. 9), либо по таблицам (табл. 3), либо по эмпирическим формулам. Хорошие результаты дает, например, следующая формула

$$\mu_{экв} = \frac{\mu_н}{1 + 0{,}84\left(\frac{d}{l}\right)^{1,7}(\mu_н - 1)},$$

где d — диаметр цилиндрического сердечника;
l — его длина.

Выбор марки феррита целиком определяется назначением антенны и рабочим диапазоном частот. Практически считается, что для антенн длинноволнового диапазона наиболее целесообразно использовать сердечник с магнитной проницаемостью 2 000 или 1 000, а для

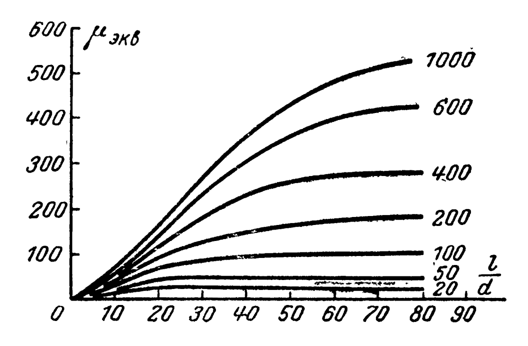


Рис. 9. Зависимость действующей магнитной проницаемости от соотношения l/d.

диапазона средних волн — 1 000 или 600. В антеннах коротких волн имеет смысл применять сердечники с начальной магнитной проницаемостью порядка 400—100, а в антеннах УКВ — порядка 50—10.

Форма сечения сердечника играет значительно меньшую роль по сравнению с соотношением продольных и поперечных размеров или выбором материала сердечника. Обычно она выбирается, исходя из конструктивных соображений. Наиболее часто применяются круглые сечения, реже — прямоугольные (пластинчатые сердечники), еще реже — сечения в виде правильных многоугольников (призматические сердечники). Могут использоваться также полые цилиндрические сердечники.

Таблица 3

l/d	$\mu_{экв}$ для сердечников с начальной проницаемостью			
	$\mu_н = 5$	$\mu_н = 10$	$\mu_н = 100$	$\mu_н \geq 200$
1	2,25	3,0	3,2	3,5
2	3,3	4,6	6,5	8
3	3,85	6,0	10	12
4	4,2	6,7	15	18
5	4,36	7,2	20	24
6	4,5	7,8	25	31
8	4,7	8,3	34	37
10	4,8	9,1	41	63
15	4,85	9,4	52	78
20	4,9	9,6	60	95

При расчете эквивалентной проницаемости все виды сечения сердечников ферритовых антенн приводятся к круглому. Формулы для определения диаметра $d_э$, равновеликого по площади круга, приводятся на рис. 10. Следует отметить, что за рубежом для миниатюрных ферритовых антенн широко используют пластинчатые сердечники с очень малым отношением c и h, малым l/c. Целесообразность применения таких сердечников в печати не освещалась. Можно предположить, что выбор сердечника подобной формы был сделан из-за высоких требований к использованию объема приемника, хотя и в ущерб его чувствительности.

Иногда появляется необходимость изготовления «ломаных» сердечников, к числу которых принадлежит, например, Z-образный сердечник (рис. 11). Такой сердечник при направленном приеме позволяет менять положение антенны без изменения положения катушки. Сердечник подобный конфигурации можно получить, склеивая отдельные его части (горизонтальные и вертикальные) клеем БФ или эпоксидной смолой. Соприкасающиеся поверхности сердечника должны быть отшлифованы и приклеены в соответствии с общепринятой технологией, применяемой при пользовании тем или иным клеем. При склеивании необходимо следить за температурой, при которой высушивается сердечник, с тем чтобы она не поднималась до точки Кюри для данного феррита.

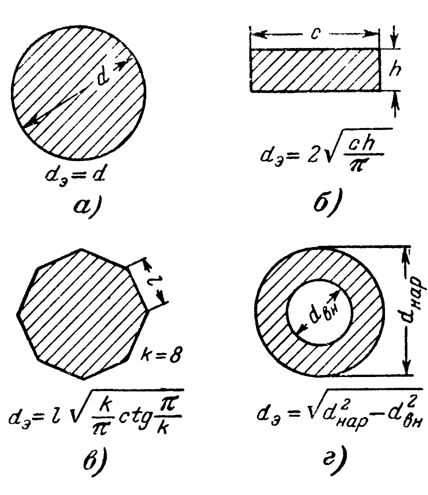


Рис. 10. К определению эквивалентного диаметра сердечников.

Механическая обработка ферритовых сердечников должна проводиться с большой осторожностью. Вибрация, удары, местный нагрев, возникающий при обработке резцом, необратимо воздействуют на кристаллическую решетку ферритов. Нарушение кристаллической решетки приводит к падению магнитной проницаемости и резкому возрастанию потерь. Это явление в ферритах получило специальное название шок-эффекта. При необходимости изменения геометрических размеров сердечников или сверления углублений следует тщательно выбирать технологию механической обработки, стремясь добиться минимальных напряжений в материале сердечника. Наиболее «безопасным» способом обработки ферритов является шлифовка на металлическом круге с применением абразивных порошков мелкой структуры. Механические усилия при шлифовке должны быть минимальны: давление при обработке не должно превышать 0,5—1 *кг/см²*.

Ферритовые сердечники можно сверлить с помощью ультразвука. Если возникает необходимость укорочения сердечника, то наиболее просто этого добиться путем нанесения на сердечнике канавки (с помощью надфиля) глубиной 0,5 *мм* и последующего легкого удара. Последствия шок-эффекта могут быть частично устранены путем циклического нагрева сердечника до температуры на 20% ниже точки Кюри.

Форма сердечника влияет не только на магнитную проницаемость. Она в значительной степени определяет магнитные потери в сердечнике. В свою очередь добротность ферритовой антенны определяется в основном величиной магнитных потерь в сердечнике. Потери в магнитных сердечниках при слабых полях могут быть выражены формулой

$$\mathrm{tg}\,\delta = \delta_г H_A + \delta_ч f + \delta_н.$$

где $\delta_г$, $\delta_ч$ и $\delta_н$ — коэффициенты потерь соответственно гистерезисных, частотных и начальных;

f — частота, *гц*;

H_A — напряженность поля, *а/м*.

Наиболее интересной в этой формуле является отчетливая связь между величиной магнитных потерь и величинами напряженности поля и частоты. Чем больше индукция внутреннего поля катушки, тем больше потери в ней.

Приведенное выше равенство применимо к ферритам лишь в области частот ниже критической, начиная с которой проницаемость и добротность материала быстро падают. За критическую принимается частота, на которой добротность снижается до 10.

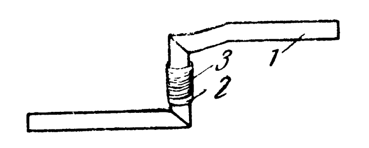


Рис. 11. Z-образный сердечник.
1 — сердечник; *2* — каркас; *3* — обмотка.

Выдающийся русский физик В. К. Аркадьев, исследовавший природу магнитных материалов, еще в 1912 г. предсказывал, что, помимо вихревых токов, в магнитных материалах действуют и другие факторы, приводящие к росту потерь и падению магнитной проницаемости. Первым из таких факторов является доменный резонанс, упоминавшийся выше.

Вторым фактором является ферромагнитный резонанс, который возникает, когда частота приложенного переменного поля совпадает с частотой так называемой прецессии. Электроны, помимо вращения по орбите, вращаются вокруг своей оси. Магнитный момент этого вращения ориентирован в общем случае произвольно. При воздействии на электроны постоянного магнитного поля происходит ориентация магнитных моментов по направлению магнитного поля. Внезапное приложение поперечного поля вызывает прецессию — относительно медленное вращение магнитных моментов.

Было замечено также, что при воздействии поперечного магнитного поля на ферритовую пластину, помещенную в волноводе, некоторые типы волн поглощаются пластиной, т. е. часть энергии волн идет на поддержание прецессии. Другие волны распространяются при этом совпадении частоты прецессии и частоты поля. Таким образом, один и тот же материал обладает различными свойствами для различно поляризованных волн. Частота прецессии зависит от величины постоянного поля. Это явление наблюдается обычно на частотах порядка нескольких тысяч мегагерц, когда материал насыщается приложенным к нему сильным постоянным магнитным полем. Резонанс проявляется в виде резкого возрастания потерь и изменения проницаемости для полей определенной поляризации. Явление ферромагнитного резонанса, точнее зависимость частоты резонанса от величины приложенного постоянного поля, широко используется в диапазоне СВЧ.

Объемный резонанс возникает в сердечниках, размеры которых соответствуют половине длины электромагнитной волны. Такое явление может возникнуть, в частности, в марганцевоцинковых ферритах, в которых магнитная проницаемость достигает значения 1 000, а диэлектрическая проницаемость 100 000. Объемный резонанс проявляется так же, как и в ранее описанных случаях, в виде увеличения потерь.

Возвращаясь к определению магнитных потерь, следует отметить, что приведенная формула носит качественный характер, так как коэффициенты $\delta_г$, $\delta_ч$ и $\delta_н$ весьма трудно определить заранее. Аналитическое определение величины потерь возможно лишь для некоторых идеальных условий. Так, с помощью упоминавшегося ранее понятия комплексной магнитной проницаемости получены формулы, выражающие, в частности, зависимость полного сопротивления антенны и ее добротности от параметров стержня и намотки. Активное сопротивление антенны, имеющей сердечник в виде эллипсоида и сплошную по всей длине намотку, выражается формулой

$$R_M = 2\pi f \mu_0 w^2 \frac{S\Phi\mu''(1-N)}{10l\,[1+N(\mu'-1)]^2},$$

где Φ — постоянная катушки, зависящая от соотношения l/d;
μ_0 — проницаемость воздуха;
S — сечение сердечника.

Для быстрых, ориентировочных расчетов потерь в сердечнике (при неизменных параметрах антенной катушки) полезным оказывается соотношение $\mu_{экв}Q = \text{const}$, справедливое при условии неизменности исходного материала сердечника и в определенном интервале частот. Если, например, требуется определить, насколько изменится добротность сердечника (а следовательно, и антенны в целом) при условии, что $\mu_{экв}$ вследствие изменения соотношения l/d уменьшилось в 1,5 раза, тогда, опираясь на вышеприведенное соотношение между $\mu_{экв}$ и Q, можно утверждать, что добротность сердечника вырастет примерно также на 50%.

4. Магнитоприемники (антенные катушки)

Антенная катушка, как уже говорилось, является наиболее распространенной и наиболее изученной разновидностью магнитоприемника. Поэтому знакомство с магнитоприемниками мы начинаем именно с нее.

На рис. 12 представлено схематическое изображение внешнего поля, видоизмененного под влиянием внесенного ферритового стержня, и магнитного поля антенной катушки. Взаимосвязь обоих полей определяет приемные свойства антенны.

Антенная катушка ферритовой антенны выполняется обычно в виде многовитковой катушки и является частью (индуктивной ветвью) входного контура. Электрические свойства ее выражаются индуктивностью L и добротностью Q — величиной, оценивающей потери катушки и зависящей от отношения индуктивного сопротивления настроенной катушки к ее активному сопротивлению. Обе эти величины находятся в зависимости от свойств сердечника: его магнитной проницаемости и магнитных потерь, относительного расположения катушки и сердечника и т. п. На рис. 13 обозначены наиболее существенные физические размеры, характеризующие расположение антенной катушки на сердечнике.

Использование ферромагнитного сердечника в антенной катушке приводит к увеличению ее индуктивности. Индуктивность воздушной (без сердечника) катушки L_0 (в генри) определяется обычно формулой

$$L_0 = w^2 d_к \Phi \cdot 10^{-9},$$

где w — число витков;

$d_к$ — диаметр катушки, *см*;

Φ — постоянная, зависящая в основном от отношения диаметра катушки к ее длине.

Значение Φ вычисляется при $0{,}25 < a/d_к < 1{,}3$ по формуле

$$\Phi = 1 + 6\frac{d_к}{a},$$

где a — длина катушки.

Индуктивность антенной катушки с ферритовым стержнем увеличивается в число раз, определяемое коэффициентом $\mu_к$, называемым иногда «катушечной» проницаемостью.

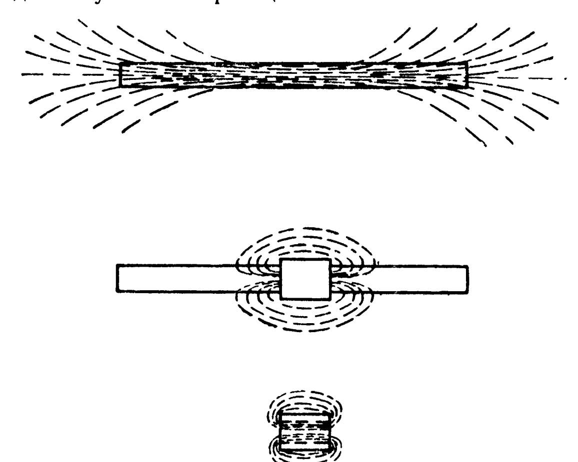


Рис. 12. Внешнее и «внутреннее» поля антенной катушки.

Коэффициент $\mu_к$ численно выражает перераспределение магнитных сопротивлений на пути магнитного потока, происшедшее в катушке индуктивности при введении сердечника. Магнитное сопротивление внутреннего участка пути магнитного потока в воздушной катушке превышает сопротивление внешнего участка примерно в 6—10 раз (в зависимости от конструкции катушки). Введение стержня внутрь катушки резко уменьшает магнитное сопротивление внутреннего участка; оно становится пренебрежимо малым по сравнению с сопротивлением внешнего участка. В соответствии с этим изменяется и величина $\mu_к$. В зависимости от начальной магнитной проницаемости сердечника, размеров его и конструкции катушки $\mu_к$ может быть в пределах 5—12. Таким образом, индуктивность ка-

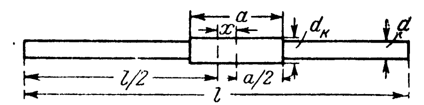


Рис. 13. Размеры антенной катушки.

тушки с сердечником превышает индуктивность катушки без сердечника в 5—12 раз.

Изменение произведения $\Phi\mu_к$ средневолновой ферритовой антенны при относительном увеличении длины катушки a/l для $l=200$ *мм*, $d=8$ *мм*, $\mu_{экв}=200$ и $w=30$ показано на рис. 14. На величину $\mu_к$ (а следовательно, и индуктивность катушки) влияет положение катушки на сердечнике: чем дальше отодвинута катушка от центра стержня, тем меньше индуктивность ее (рис. 15). Этим эффектом часто пользуются при регулировке индуктивности антенной катушки. Несмотря на конструктивные удобства подобной регулировки, следует иметь в виду, что при перемещениях катушки от центра магнитный поток в сечении стержня уменьшается (из-за неравномерности поля в сердечнике), что приводит к уменьшению наводимой в катушке э. д. с. E по сравнению с э. д. с. $e_{макс}$ катушки, расположенной в центре (рис. 15).

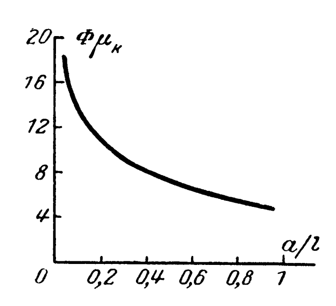


Рис. 14. Изменение произведения $\Phi\mu_к$ в зависимости от a/l.

Добротность антенной катушки в значительной степени определяет приемные свойства ферритовой антенны. При условии что отсутствуют дополнительные источники потерь в контуре, напряжение пропорционально добротности.

Эквивалентная схема антенной катушки (рис. 16) изображается в виде последовательно включенных активного сопротивления обмотки катушки $R_к$, сопротивления магнитных потерь $R_м$ и индуктивности $L_к$. Для обычных ферритовых антенн $R_к/R_м \ll 1$ и поэтому добротность, определяемая по формуле

$$Q = \frac{2\pi f L}{R_к + R_м},$$

зависит в основном от магнитных свойств сердечника.

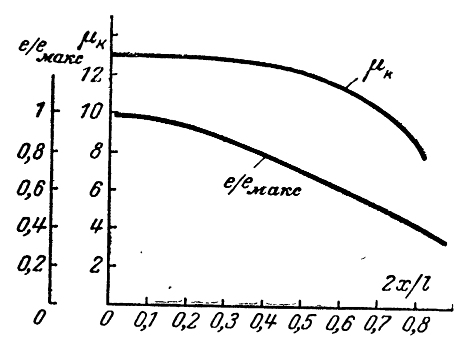


Рис. 15. Изменение э. д. с. катушки при перемещении ее вдоль сердечника.

Остановимся подробнее на применяемых в антенных катушках видах намотки. Вид намотки катушки в значительной мере влияет на свойства антенны. При выборе его следует исходить из числа витков, диапазона работы антенны, размеров сердечников и диаметра применяемого провода.

В длинноволновом и средневолновом диапазонах чаще всего применяют сплошную (виток к витку) однорядную намотку (при диаметрах сердечника до 10 *мм*), однако более выгодной, обеспечивающей лучшие приемные свойства (но и более трудоемкой), яв-

ляется распределенная намотка с принудительным шагом (равномерным или прогрессивным). Такая намотка возможна при относительно малом числе витков (не более 30), когда диаметр стержня достаточно велик. Распределенная намотка применяется также и в катушках коротковолновых и особенно ультракоротковолновых антенн.

Рис. 16. Эквивалентная схема антенной катушки.

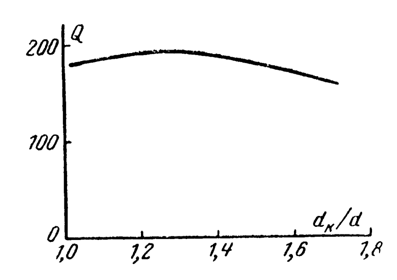


Рис. 17. Увеличение добротности при изменении диаметра антенной катушки.

Иногда антенную катушку разбивают на секции. Это делается как для удобства переключения диапазонов, так и для получения наибольшей эффективности ферритовой антенны. Более подробные сведения по расчету секционированных антенных катушек приведены в следующей главе.

Конструкция антенной катушки (ее длина и диаметр) оказывает существенное влияние на добротность. В частности, если при неизменных размерах стержня и одном и том же числе витков антенной катушки увеличивать диаметр каркаса, то добротность катушки сначала увеличивается, достигает некоторого максимума, после чего начинает уменьшаться (рис. 17). Увеличение диаметра антенной катушки приводит в то же время к некоторому уменьшению действующей проницаемости сердечника $\mu'_{экв}$, которое можно учитывать с помощью формулы

$$\mu'_{экв} = \frac{d^2}{D^2_{ср}} (\mu_{экв} - 1) + 1,$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр обмотки антенной катушки;
d — диаметр сердечника.

Увеличение длины катушки приводит обычно также к некоторому уменьшению ее добротности.

Каркасы катушек для антенн длинноволнового и средневолнового диапазонов изготовляют обычно из прессшпана. Для коротковолнового и в особенности ультракоротковолнового диапазонов следует использовать материалы с малыми потерями, такие как полистирол, фторопласт.

Выбор марки провода антенной катушки оказывается весьма важным в том случае, когда обмотка выполняется сплошной (виток к витку). Для катушки средневолнового диапазона применение литцендрата 9×0,7 дает увеличение Q на 50—100% по сравнению с обычным медным эмалированным приводом. При намотке с шагом 1,5—2 *мм* влияние марки провода на качество катушки незначительно.

По мере повышения частоты число витков антенной катушки сокращается. Все большее значение приобретает собственная емкость антенной катушки. Уже при частоте порядка 50—70 *Мгц* число

витков катушки с внутренним диаметром 8—10 *мм* нельзя брать больше чем 4—2, так как антенная катушка начинает резонировать на собственной емкости.

В последнее время получили развитие магнитоприемники в виде одного широкого витка (рис. 18). Виток *4* изготовляется из посеребренной тонкой фольги, охватывающей сердечник *1*, и настраивается с помощью нескольких конденсаторов одинаковой емкости *2*.

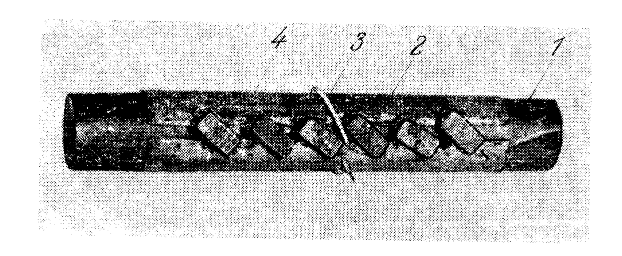


Рис. 18. Магнитоприемник типа «широкий виток».

Напряжение может сниматься с антенны с помощью витка связи *3*. Достоинством такого магнитоприемника является малая индуктивность, что приводит к расширению частотного диапазона антенны в сторону более высоких частот и уменьшает резонансное сопротивление контура.

Малое сопротивление контура облегчает задачу согласования, особенно в диапазоне УКВ. Следует отметить, что такая антенна

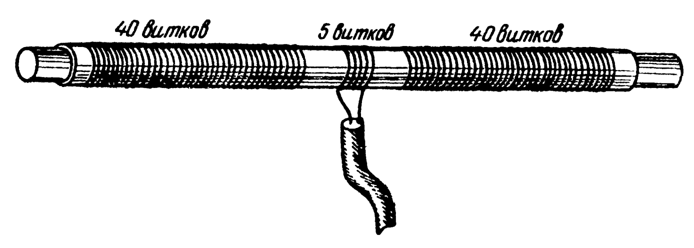


Рис. 19. Спиральная антенна.

рассчитывается несколько своеобразно: широкий виток вместе с конденсаторами рассматривается как несколько параллельных взаимосвязанных контуров. Взаимодействие контуров приводит к некоторому увеличению эффективности антенны (примерно в 1,5—2 раза) и к снижению резонансной частоты всей антенны по сравнению с собственной частотой части широкого витка, примыкающей к одному конденсатору. Использование в качестве магнитоприемника широкого витка позволяет продвинуть верхнюю границу применения ферритовых антенн до 140—150 *Мгц*.

В то же время частотные свойства ферритов (см. табл. 1) позволяют конструировать ферритовые антенны и для более вы-

соких частот. В качестве магнитоприемников таких антенн могут использоваться спиральные и щелевые антенны. В качестве примера рассмотрим спиральную антенну, испытанную автором в диапазоне 150—300 *Мгц*. Антенна представляет собой спираль с малым (3—5) числом витков, навитую на цилиндрический ферритовый сердечник диаметром 25 и длиной 250 *мм* с проницаемостью $\mu=15$. Она устанавливалась на металлическом листе, к которому припаивалась оплетка питающего коаксиального кабеля; жила кабеля соединялась со спиралью в верхнем ее конце. Входное сопротивление антенны было во всем диапазоне близким к 150 *ом*. Однако к. п. д. ее оказался весьма низким (не более 10%), что объясняется прежде всего возрастающими с частотой магнитными потерями. Одна из разновидностей спиральных антенн, предназначенная для КВ диапазона, показана на рис. 19.

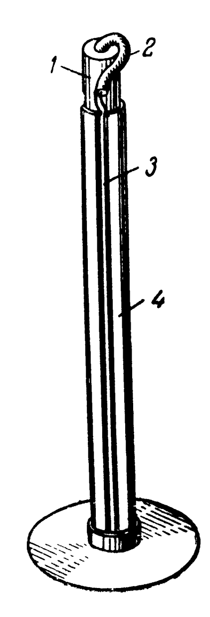


Рис. 20. Щелевая антенна.

Большой интерес представляет использование ферритов в щелевых антеннах. Щелевая цилиндрическая антенна, внешний вид которой показан на рис. 20, весьма близка к рамочной антенне как по распределению тока на ее поверхности, так и по поляризационным свойствам. Поверхность ее представляет собой виток *4*, причем диаметр витка (для воздушной щелевой антенны) составляет примерно треть, а высота антенны — несколько больше половины длины волны Действующая высота щелевой антенны равна длине щели *3*, а входное сопротивление зависит от точки подсоединения кабеля и изменяется от 600 до 150 *ом*. Эта антенна обладает резонансными свойствами, причем частота резонанса определяется длиной щели при условии, что диаметр цилиндра должен быть достаточным во избежание шунтирования витком малой индуктивности. С помощью феррита можно сократить диаметр цилиндрической щелевой антенны примерно в число раз, равное корню из действующей магнитной проницаемости сердечника. Кабель питания *2* проходит в сердечнике антенны *1*.

Ферритовые антенны применяются также и в диапазоне СВЧ. В основу их положен принцип диэлектрической антенны (использование феррита в качестве среды для распространения радиоволн). Благодаря относительно высокой диэлектрической проницаемости феррита (10—14 в диапазоне СВЧ) такая антенна, имеющая вид длинного усеченного конуса, способна обеспечить получение однолепестковой диаграммы направленности шириной около 25° с коэффициентом усиления порядка 40 в 3-сантиметровом диапазоне волн.

Схематический чертеж такой антенны представлен на рис. 21. Антенна состоит из ферритового стержня *1* длиной около 11 *см*, наибольшим диаметром не меньше 0,6 *см* и наименьшим диаметром 0,38 *см*, модулирующей катушки *2*, короткой секции круглого волновода для возбуждения стержня, фильтра и короткой секции обычного прямоугольного волновода *3*. Излучающий стержень изготовлен из феррита с малыми потерями $\operatorname{tg}\delta=0{,}0013$ и диэлектрической про-

ницаемостью $\varepsilon=13,6$. Заполненная ферритом секция круглого волновода имеет внутренний диаметр 6,25 и длину около 19 *мм*. Фильтр представляет собой медный ленточный проводник (толщиной 0,5 и шириной 1,5 *мм*), проходящий через феррит. Волна, возбуждаемая в прямоугольном волноводе, переходит затем в секцию круглого волновода, заполненную ферритом. Присутствие ферритового стержня заставляет волну, возбужденную в круглом волноводе, распространяться далее по стержню, как по волноводу переменного сечения. Однако в отличие от волновода, где металлические стенки полностью экранируют внутреннее поле, волна, распространяющаяся по ферритовому стержню, лишь частично отражается от границы раздела с воздухом, поэтому во всех точках поверхности происходит излучение. В результате этого диаграмма направленности ферритовой СВЧ антенны получается значительно более острой, чем, например, диаграмма направленности открытого конца волновода. Она зависит от площади поперечного сечения тела феррита по всей его длине, диэлектрической и магнитной проницаемости, длины стержня и др.

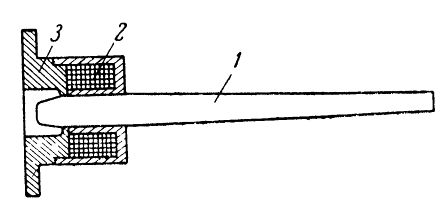


Рис. 21. Ферритовая антенна СВЧ диапазона.

Описанная ферритовая антенна, помимо своего основного назначения (излучение электромагнитной энергии), используется и в качестве модулятора. Роль последнего выполняет катушка, которая питается током около 10 *ма*. В результате эффекта Фарадея продольное магнитное поле, вызванное соленоидом, поворачивает плоскость поляризации волны так, что потери в фильтре резко возрастают, ослабляя уровень сигнала более чем в 100 раз.

Простота такой антенны, ее малые размеры, а также возможность управления позволяют конструировать многорядные решетки с большим коэффициентом усиления и управляемой электрическим способом диаграммой направленности.

ГЛАВА ВТОРАЯ

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

5. Приемные свойства ферритовых антенн

До сих пор эффективность приемной антенны мы оценивали действующей высотой, которая ранее была определена как коэффициент пропорциональности между напряженностью электромагнитного поля и э. д. с., наведенной этим полем в антенне.

Электродвижущая сила, возникающая в ферритовой антенне, зависит от величины магнитного потока в сердечнике. Магнитный поток внешнего поля определяется как произведение индукции B на величину сечения сердечника S. Изменение магнитного потока во времени приводит к возникновению в магнитоприемнике э. д. с. От-

сюда можно определить связь между внешним полем и величиной э. д. с. в антенной катушке. Для гармонических колебаний э. д. с. в магнитной антенне будет пропорциональна величине магнитного потока и частоте, т. е.

$$\varepsilon = -j\omega BSw.$$

Так как B является функцией H, связанной с напряженностью поля E простой линейной зависимостью, то очевидно, что действующая высота ферритовой антенны определяется зависимостью B от H, сечением сердечника и числом витков антенной катушки. В соответствии с этим в расчетную формулу, определяющую действующую высоту h, входят эквивалентная проницаемость сердечника $\mu_{экв}$, площадь его сечения S, длина рабочей волны λ и число витков антенной катушки w

$$h = \frac{2\pi S}{\lambda} \mu_{экв} w.$$

Антенная катушка, как уже говорилось, используется в качестве индуктивности входного контура, который подключается обычно непосредственно ко входу приемника. Наилучшие результаты ферритовая антенна дает при использовании в первом каскаде приемника электронной лампы. В этом случае, если входное сопротивление лампы $R_{вх}$ значительно превосходит эквивалентное сопротивление контура R_{oe}, не оказывая шунтирующего действия на него (т. е. соблюдается условие $R_{вх} \gg R_{oe}$), то напряжение на контуре увеличивается в Q раз. Величиной Q оценивается качество входного контура, определяющееся в основном добротностью катушки Q_a. Входной контур предстанет, таким образом, в виде трансформатора э. д. с., наводимой в антенне. Часто для обозначения суммарного действия антенны и входного контура прибегают к понятию «приведенная действующая высота», которую определяют формулой

$$h' = hQ.$$

Понятие h' позволяет с учетом напряженности электромагнитного поля, определить значение напряжения $U_{вх}$ на управляющей сетке входной лампы, которое выражается в следующем виде:

$$U^{в} = Eh'.$$

Пользуясь приведенными формулами, можно провести сравнение приемных антенн, в частности двух наиболее распространенных типов комнатных антенн: обычного вертикального провода длиной 2 *м* и ферритовой антенны, встроенной внутрь приемника, сердечник которой имеет длину 200 *мм*, диаметр 15 *мм* и начальную проницаемость $\mu_н = 200$. Добротность антенной катушки ферритовой антенны примем равной 200 ($w = 75$, $\mu_{экв} = 70$ и $L = 0{,}8$ *мгн*), считая, что контур нагружен на согласованную нагрузку. Сравнительный расчет будем вести на частоте 1 *Мгц* ($\lambda = 300$ *м*).

Параметр	Вертикальный провод	Ферритовая антенна
Коэффициент усиления входной цепи	3	100
Действующая высота, *м*	2	0,02
Приведенная действующая высота, *м*	6	2
Напряжение на сетке лампы при $E =$ $= 100$ *мкв/м*, *мкв*	600	200

Как показывает расчет, ферритовая антенна несколько уступает по эффективности вертикальному проводу длиной 2 *м*, однако она более компактна. Ферритовая антенна обладает рядом других ценных качеств. Высокая добротность входного контура, в который входит катушка ферритовой антенны, обеспечивает хорошую избирательность входного сигнала по частоте, уменьшая помехи от соседних станций. Ширина полосы пропускания (полоса частот, в которой ослабление мощности сигнала не превышает 2) может быть найдена как частное от деления значения частоты на добротность. Для нашего случая ($f=1$ *Мгц*) ширина полосы пропускания составит всего 10 *кгц*, а при ослаблении в 10 раз — около 60 *кгц*. Узкая полоса пропускания на входе приемника способствует лучшей защите от шумов индустриального происхождения (разряды электрического тока, импульсные помехи и т. п.), которые содержат широкий спектр частот. Высокая избирательность ферритовой антенны позволяет в ряде случаев отказаться в приемнике от усилителей высокой частоты, поскольку помехи по зеркальному каналу резко ослабляются.

Действующая высота ферритовой антенны существенно влияет на чувствительность приемного устройства. Чувствительность приемника, как известно, определяется минимальной величиной напряжения сигнала на входе, при которой еще сохраняется необходимое (для качественного воспроизведения) соотношение напряжений сигнала и шума γ на выходе приемника.

При использовании ферритовых антенн в приемниках чувствительность последних целесообразно определять минимальной напряженностью поля, достаточной для получения заданного отношения сигнал/шум. Напряжение сигнала на выходе приемника при этом пропорционально общему коэффициенту усиления приемника и действующей высоте ферритовой антенны. Напряжение шумов на выходе зависит также от усиления приемника, однако решающим является их уровень на входе приемника. В свою очередь уровень шумов на входе приемника определяется шумами внешнего происхождения (атмосферные, станционные и промышленные помехи) и внутренними шумами приемника (в основном шумами первого каскада). В супергетеродинных приемниках относительно большой вес имеет так называемый «суперный» шум — шумы преобразователя, особенно если отсутствует усилитель высокой частоты. В соответствии с этим в различных приемниках могут быть различные требования к антеннам. Увеличение действующей высоты ферритовой антенны позволяет увеличить чувствительность, если в приемнике отсутствует усиление по высокой частоте. С другой стороны, в приемниках первого класса, где внутренние шумы определяются входной цепью, увеличение действующей высоты антенны, сопровождающееся обычно увеличением шумов, не приводит к повышению чувствительности. Внутренние шумы приемника определяются входным контуром, в который входит ферритовая антенна и шумовыми свойствами 1-го каскада. Резонансное сопротивление входного контура R_{oe} зависит от добротности контура и сопротивления потерь, т. е.

$$R_{oe}=\frac{\rho^2}{R_п}.$$

Сопротивление потерь входного контура складывается из активного сопротивления контура, о котором говорилось выше, и сопро-

тивления излучения R_Σ (сопротивление излучения характеризует мощность электромагнитного поля, которую излучает ферритовая антенна, используемая в качестве передающей). Величина его тесно связана с действующей высотой

$$R_\Sigma = 20\ (mh)^2,$$

где

$$m = 2\pi/\lambda.$$

Подставив в эту формулу значение действующей высоты, легко убедиться, что сопротивление излучения составляет лишь сотые доли ома. В то же время сопротивление потерь ферритовых антенн достигает единиц ом.

Соотношение между сопротивлением потерь и сопротивлением излучения играет решающую роль при определении предельной чувствительности приемника с ферритовой антенной. Учет этого соотношения производится с помощью понятия коэффициента шума ферритовой антенной $F_{\text{ф.а}}$, который показывает насколько увеличивается мощность шума, принятого антенной из внешнего пространства, самой антенной за счет наличия потерь.

Уровень шума в приемнике, помимо шумов антенны, определяется также шумами последующих каскадов, при этом коэффициенты шума антенны и каскадов перемножаются, образуя общий коэффициент шума приемника.

Чувствительность приемника с ферритовой антенной может быть рассчитана по формуле

$$E = \gamma \sqrt{4kTQ^2 R_\Sigma\, \Delta f F_{\text{ф.а}} F_{\text{пр}}}\ \ [в/м],$$

где k — постоянная Больцмана;
T — температура, °К;
Δf — ширина полосы пропускания приемника;
γ — соотношение сигнал/шум на выходе приемника.

Расчет коэффициента шума приемника $F_{\text{пр}}$ достаточно сложен и к тому же требует многочисленных допущений. Более простая формула получается, если пренебречь шумами последующих каскадов. Тогда чувствительность приемника при полной связи антенны со входом определится как

$$E \cong \frac{10^{-2}\gamma}{h} \sqrt{\Delta f L \frac{f_c}{Q}},\ \ мкв/м,$$

где f_c—частота сигналов.

Последняя формула достаточно наглядно показывает роль и значение отдельных параметров ферритовой антенны. Следует, однако, отметить, что приведенный расчет чувствительности не учитывает влияния внешних помех, которые на практике могут быть выше внутренних шумов приемника, ухудшая его реальную чувствительность. Мы уже говорили, что направленные свойства ферритовой антенны обеспечивают пространственную избирательность антенны, позволяя бороться с помехами. Наилучшим образом пространственная избирательность антенны реализуется, если диаграмма направленности симметрична, т. е. максимумы (минимумы) отстоят друг от друга на 180°, максимумы имеют одинаковую величину, а паразитный прием отсутствует.

Симметрия диаграммы обеспечивается электрической симметрией антенны. Под электрической симметрией понимается эквипотенциальность симметричных точек антенной цепи по отношению к земле. Это означает, что любой точке справа от точки нулевого потенциала витка должна соответствовать симметричная точка слева. Соответствие точек означает равенство их напряжений (по абсолютной величине) и комплексных сопротивлений относительно земли.

Ферритовая антенна вследствие ее малых размеров и особенностей магнитного поля обладает высокой естественной симметрией, однако при подключении антенны ко входу приемника эта симметрия часто нарушается. Действительно, поскольку вход большинства приемников несимметричен по отношению к земле, симметрия токов

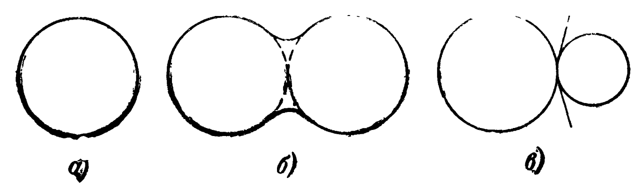


Рис. 22. Искажение диаграммы направленности ферритовой антенны.

в обоих половинах витка нарушается, так как токи в них перестают быть равными по величине.

Подобная асимметрия приводит к искажению диаграммы направленности вследствие паразитного ненаправленного приема. Искажения диаграммы направленности ферритовой антенны легко себе представить, если суммировать на входе приемника две э. д. с— одну от симметричной антенны, имеющей диаграмму направленности в виде «восьмерки», и другую от ненаправленной антенны, имеющей диаграмму в виде окружности (рис. 22,*а*). В зависимости от соотношения амплитуд и фаз обеих э. д. с. возможны различные типы искажений. Отметим два крайних случая: первый, когда относительная фаза между э. д. с. равна 90° (рис. 22,*б*) (при этом получается «замывание» нуля диаграммы направленности), и второй случай, когда паразитная э. д. с. находится в фазе с полезной — при этом происходит излом оси минимумов (рис. 22,*в*). При увеличении амплитуды паразитного приема диаграмма направленности ферритовой антенны может выродиться в окружность, что свидетельствует не только о потере пространственной селекции, но и приводит к ухудшению добротности антенны.

Эта опасность наиболее реальна при использовании ферритовых антенн в сетевых ламповых приемниках, где асимметрия входа выражена наиболее резко.

Борьба с искажениями диаграммы направленности приемных ферритовых антенн проводится путем использования специальных симметрирующих устройств, исключающих проникновение паразитной э. д. с. на вход приемника.

К таким устройствам относятся симметрирующие трансформаторы и компенсирующие устройства, которые будут рассмотрены в специальном разделе.

Интересны частотные свойства ферритовых антенн. Рост потерь в ферритах с большим значением $\mu_{экв}$ при увеличении частоты при-

водит к необходимости для сохранения достаточно высоких значений Q использовать ферриты с меньшей проницаемостью. Уменьшение проницаемости, несомненно, уменьшает действующую высоту ферритовых антенн. Однако при неизменных и малых по сравнению с λ геометрических размерах антенны приемные свойства ее (сопротивление R_{Σ}) с увеличением частоты улучшаются пропорционально отношению S^2/λ^4. В конечном итоге, как показывает практика, ферритовые антенны могут быть применены без заметного снижения их эффективности повсюду, начиная с длинноволнового и кончая ультракоротковолновым (метровым) диапазоном (рис. 23).

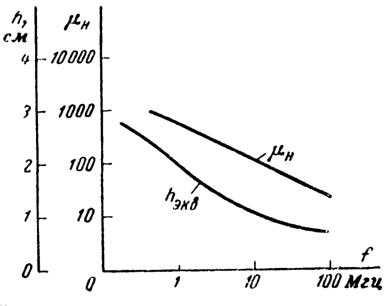


Рис. 23. Частотные характеристики ферритовых антенн.

Говоря об эффективности приемных ферритовых антенн, следует отметить, что схема их включения имеет существенные отличия от схемы включения электрических антенн. Этим отчасти объясняется тот факт, что в вещательных приемниках с комбинированным входом (т. е. предназначенным для работы с обоими типами антенн) не всегда удается получить высокую чувствительность. Рассмотрение особенностей включения ферритовых приемных антенн приводится далее.

6. Схемы включения приемных ферритовых антенн

Чувствительность приемника с ферритовой антенной во многом определяется удачным выбором схемы включения антенны. Специфические особенности ферритовой антенны предъявляют совершенно определенные требования к входным цепям. Несоблюдение этих требований зачастую приводит к уменьшению чувствительности приемника в целом. Рассмотрим прежде всего условия оптимального использования любой приемной антенны.

Известно, что эквивалентная схема приемной антенны представляет собой генератор, обладающий э. д. с. e и внутренним, в общем виде, комплексным сопротивлением $Z_а$. Вход приемника может быть представлен также комплексным сопротивлением $Z_н$. Максимальную мощность приемная антенна может отдать в том случае, когда соблюдено равенство активных и сопряженность реактивных составляющих $Z_а$ и $Z_н$, т. е. выполнено условие согласования сопротивлений антенны и нагрузки. Это же условие обычно обеспечивает получение максимальной чувствительности.

Ферритовые антенны в подавляющем большинстве представляют собой соединение индуктивности (положительного реактивного сопротивления) и небольшого по величине активного сопротивления.

Индуктивное сопротивление антенны компенсируется емкостью конденсатора, включенного параллельно или последовательно. В соответствии с этим полное сопротивление настроенной антенны может быть равно либо резонансному сопротивлению контура R_0,

(при параллельном контуре), либо сопротивлению потерь $R_п$. Входное сопротивление электрических антенн представляет собой последовательно соединенные емкость и сопротивление, величины которых в зависимости от частоты изменяются сложным образом. Компенсация реактивности антенны обеспечивается индуктивностью входного контура.

С точки зрения получения максимальной мощности следовало бы добиваться равенства сопротивлений R_{oe} входного контура и входного сопротивления лампы $R_{вх}$. Однако если рассматривать лампу как усилитель напряжения, то целесообразно увеличить напряжение на входном контуре, хотя бы мощность, отдаваемая при этом контуром, а следовательно, и антенной, была меньше максимально возможной. Условием получения наибольшего напряжения на контуре следует считать следующее неравенство:

$$R_{вх} \geqslant R_{oe}.$$

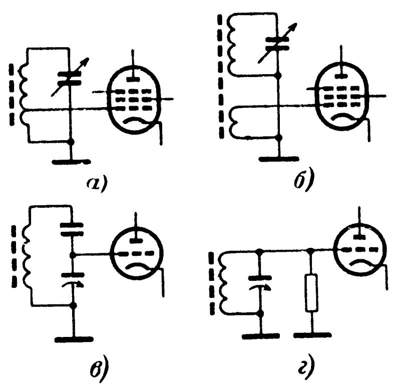


Рис. 24. Способы включения ферритовых приемных антенн.

При малом входном сопротивлении лампы добротность входного контура, а следовательно, и коэффициент усиления входной цепи значительно падают, что приводит к уменьшению эффективности антенны. Обычно это случается в коротковолновом и главным образом в ультракоротковолновом диапазонах, где сопротивление входа лампы, приводимое в справочниках для какой-нибудь определенной частоты, например 60 *Мгц*, начинает уменьшаться обратно пропорционально квадрату частоты. Так, например, если для лампы 2Ж27Л на частоте 30 *Мгц* $R_{вх}$ составляет 60 *ком*, то на частоте 60 *Мгц* оно будет уже 15 *ком*, а на частоте 90 *Мгц* — всего 6,66 *ком*.

Согласование входа лампы с антенным контуром достигается неполным включением последнего. На рис. 24 показаны различные способы такого включения. Автотрансформаторное включение (рис. 24,*а*) удобно применять, если точно известны входное сопротивление лампы и эквивалентное сопротивление контура. В этом случае число витков катушки связи $w_{св}$, с которой напряжение подается на управляющую сетку лампы, может быть определено по формуле

$$w_{св} = \sqrt{\frac{R_{вх}}{R_{oc}} w^2},$$

где R_{oe} — эквивалентное сопротивление входного контура, равное $Q\omega L$;

w — полное число витков катушки.

Индуктивная связь (рис. 24,*б*) более гибкая. Она позволяет, изменяя взаимоиндуктивность между катушкой связи и антенной

катушкой путем перемещения катушки связи при неподвижной антенной катушке, добиться опытным путем наилучшего эффекта. Такая связь оказывается также весьма удобной в том случае, когда первая лампа является преобразователем. Катушка связи размещается на сердечнике ферритовой антенны. Емкостная связь (рис. 24,*в*) обычно используется в таких устройствах, где осуществляется беспоисковый прием, т. е. прием без перестройки антенного контура. Полное включение ферритовой антенны (рис. 24,*г*) наиболее широко применяется на средневолновом и длинноволновом диапазонах.

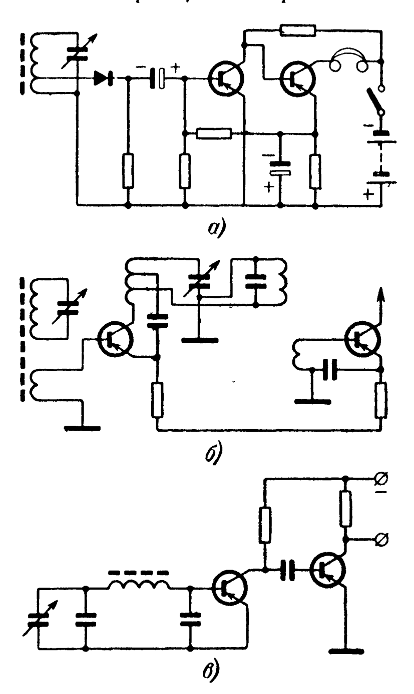


Рис. 25. Схемы включения ферритовых антенн в транзисторных приемниках.

Вопрос выбора соответствующей связи между антенной и входом приемного устройства приобретает особое значение в приемниках на полупроводниковых приборах, характеризующихся весьма малыми по сравнению с электронными лампами входными сопротивлениями (порядка нескольких сотен и даже десятков ом) и большими значениями входной емкости. Это приводит к необходимости применения малой связи антенны с входным каскадом. На рис. 25,*а* показана схема детекторного приемника с такой связью. В схеме супергетеродинного приемника используется индуктивная связь антенны (рис. 25,*б*) с транзистором. Катушка связи $L_{св}$ имееть лишь 9 витков, в то время как катушка контура — 60 витков. При этом сопротивление включенной части входного контура уменьшается по сравнению с полным включением антенной катушки в 45 раз $(60/9)^2$. Помимо неполного включения в транзисторных приемниках применяется включение ферритовой антенны с помощью внутренней связи с транзистором. В этом случае элементом связи антенны является конденсатор связи $C_{св}$, включенный параллельно входу транзистора (его входной емкости). Схема подобного включения приводится на рис. 25,*в*.

В транзисторах емкость *p-n* перехода в большинстве случаев рассматривается как паразитная, ограничивающая частотный диапазон полупроводникового прибора. Между тем в ряде случаев наличие этой емкости или, точнее, изменение ее под действием приложенного к прибору напряжения может оказаться полезным. На рис. 26 показана зависимость емкости *p-n* перехода от приложен-

ного к диоду постоянного напряжения. Это свойство позволяет использовать полупроводниковый прибор как элемент настройки контура

В качестве элемента настройки можно использовать германиевые диоды типа ДГ-Ц24, Д7Ж и др. Еще лучше использовать для этого кремниевые стабилитроны. Следует отметить, однако, что влияние активного сопротивления перехода, шунтирующего входной контур, а также малое перекрытие диапазона затрудняют применение такого рода настройки. Тем не менее в настоящее время

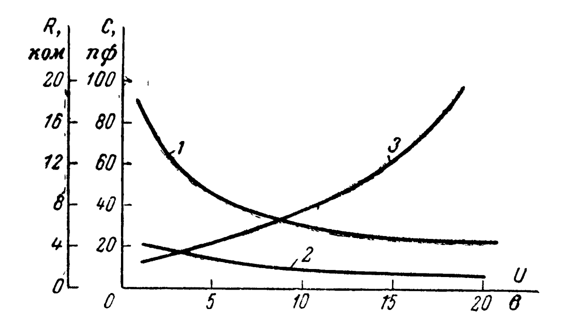


Рис. 26. Изменение емкости *p-n* перехода в полупроводниковом диоде.

1 — емкость *p-n* перехода транзистора П6Б; *2* — то же для диода ДГ-Ц27. *3* — активное сопротивление для диода ДГ-Ц27.

созданы специальные диоды — варикапы, которые могут быть использованы для настройки ферритовых антенн КВ и УКВ диапазонов. К ним относятся кремниевые диоды Д901А, Б, В, Г.

Одним из наиболее сложных вопросов, возникающих при выборе схемы включения ферритовой антенны, является сопряжение входного контура (контура с ферритовой антенной) с контурами преобразователя частоты и гетеродина. Сопряжение настройки контуров приемника во всем частотном диапазоне обеспечивает получение максимальной чувствительности. Для приемников с ферритовой антенной задача достижения сопряжения оказывается значительно более сложной, чем в приемниках с электрическими антеннами. Если в последних катушки индуктивности могут быть выбраны примерно одинаковыми, то у приемников с ферритовой антенной задача получения максимальной действующей высоты неизбежно требует существенного увеличения индуктивности антенной катушки. В то же время увеличение индуктивности гетеродинного контура недопустимо, так как это ведет к снижению стабильности частоты гетеродина.

При выборе схемы включения необходимо предусмотреть также унификацию конденсаторов настройки, т. е. все конденсаторы переменной настройки должны быть одинаковыми и иметь однообразный характер изменения емкости при настройке приемника. Выполнение указанных требований ведет к значительному усложнению схемы входа приемника с ферритовой антенной по сравнению со схемами приемников, работающих с электрической антенной. Схема

Рис. 27. Схема входа приемника «Спорт-2».

входа «обрастает» многочисленными сопрягающими конденсаторами, что ведет в конечном итоге к некоторому снижению чувствительности приемника с ферритовой антенной по сравнению с максимально достижимой чувствительностью, которая могла бы быть достигнута при раздельной настройке приемника и антенны. Практически чувствительность серийных приемников в СВ и ДВ диапазонах составляет при использовании магнитной антенны 1—2 *мв/м*, в то время как расчетная чувствительность (при оптимальной схеме входа) имеет величину на порядок меньше.

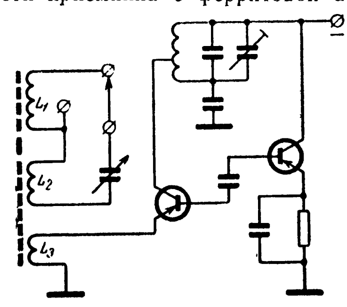
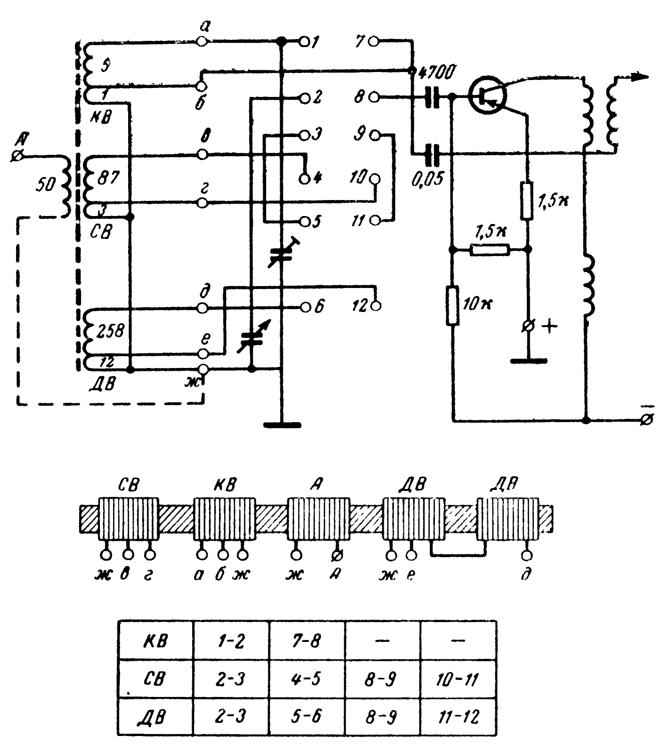


Рис. 28. Включение ферритовой антенны с переключением антенных катушек.

В качестве примера рассморим схему входа современного транзисторного приемника «Спорт-2» (рис. 27), имеющего две

ферритовые антенны: одну *МА-I* для диапазонов *СВ* и *ДВ* и вторую *МА-II*—коротковолновую (*КВI* и *КВII*).

Антенна *МА-I* выполнена на сердечнике 600НН (160×8) и имеет две антенные катушки: первую — для диапазона *ДВ*, состоящую из 4 секций по 66 витков и вторую — для *СВ* (74 витка). Антенна *МА-II* имеет также две катушки: диапазона *КВ-I* (31—25 *м*), имеющую 4 витка, и диапазона *КВ-II* (75—41 *м*), имеющую



КВ	1-2	7-8	—	—
СВ	2-3	4-5	8-9	10-11
ДВ	2-3	5-6	8-9	11-12

Рис. 29. Комбинированное включение ферритовой и электрической антенн.

10 витков. Антенна *МА-II* выполнена на сердечнике 150 ВЧ (160×8). Связь антенных контуров со входным транзистором T_1 индуктивная. Входной транзистор является одновременно смесителем — на эмиттер подается напряжение гетеродина. На выходе транзистора установлен пьезокерамический фильтр ПФ1П-2, определяющий высокую избирательность приемника по соседнему каналу (60 *дб*). Избирательность по зеркальному каналу обеспечивается ферритовыми антеннами и составляет: в диапазоне *ДВ* — 30 *дб*, в диапазоне *СВ*—32 *дб*, в *КВI* — 16 *дб* и в диапазоне *КВ-II*—20 *дб*. Неработающие антенные катушки в приемнике закорачиваются.

Настройка приемника осуществляется конденсаторами C_1 и C_2 — конденсаторами с твердым диэлектриком и диапазоном изменения емкости примерно от 9 до 365 *пф*. Чувствительность приемника составляет: на длинных волнах 1,6 *мв/м*, на средних не хуже 0,6 *мв/м*, в диапазоне *КВ* — не хуже 0,3 *мв/м*. Следует отметить, что расчет приведенной действующей высоты ферритовых антенн данного приемника показывает, что при выбранных параметрах антенных катушек и сердечников она равна с небольшими отклонениями 1 *м*. Если учесть, что приемники данного типа имеют чувствительность по базе первого триода порядка 100—150 *мкв*, то налицо существенная потеря в чувствительности, вызванная вышеуказанными трудностями.

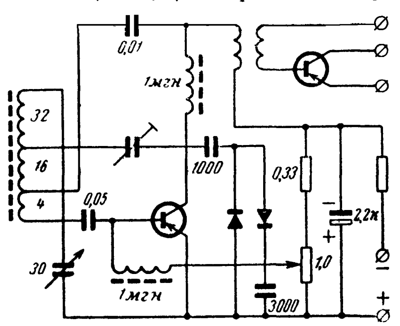


Рис. 30. Схема входа регенеративного приемника.

Этот вывод можно подтвердить сопоставлением значений индуктивностей гетеродина и антенны. Так, наибольшее расхождение между индуктивностями имеет место в диапазоне *ДВ* ($L_А$ = = 4 900 *мкгн*, L_2 = 600 *мкгн*), при этом чувствительность наименьшая. Наоборот, в диапазонах *КВ-I* и *КВ-II* величины индуктивностей совпадают, что обеспечивает относительно высокую чувствительность. При этом следует учесть, что *h* в диапазоне *КВ* меньше, чем, например, на *СВ*.

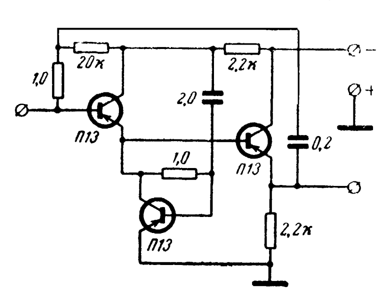


Рис. 31. Схема входа приемника с повышенным входным сопротивлением.

Приведем несколько наиболее распространенных схем включения ферритовых антенн в портативных транзисторных приемниках.

В схеме, приведенной на рис. 28, показано типовое включение двух антенных катушек, переключение которых позволяет изменять диапазон работы приемника. Сердечник антенны диаметром 8 и длиной 160 *мм* выполнен из феррита с проницаемостью 600. Катушка L_1 состоит из 70 витков (индуктивность 0,2 *мгн*), L_2 — из 160 витков (индуктивность 1,6 *мгн*) и L_3 — из 16 витков (индуктивность 10 *мкгн*).

Несколько более сложной представляется схема входа трехдиапазонного приемника (рис. 29), в котором наряду с ферритовой антенной предусмотрено использование небольшой (до 1 *м*) штыревой антенны *А* для коротковолнового диапазона. Ферритовая антенна здесь выполнена на сердечнике с магнитной проницаемостью $\mu_н$ = 150, диаметром 10 и длиной 200 *мм*.

На рис. 30 приводится схема входа регенеративного средневолнового приемника, ферритовая антенна которого состоит из сердечника ($\mu_н=600$) диаметром 10 и длиной 200 *мм* и катушки из 4+16+32 витков.

В некоторых случаях представляет интерес использовать для поднятия чувствительности транзисторного приемника схемы с высоким входным сопротивлением. Наличие такой схемы на входе приемника (рис. 31) позволяет полностью включить ферритовую антенну, не прибегая к трансформации напряжения. Такая схема обеспечивает выигрыш по чувствительности в 8—10 раз, а также способствует увеличению избирательности по зеркальному каналу. Как показывает экспериментальная проработка, схема с повышенным входным сопротивлением ($R_{вх}$ достигает 1 *Мом*) хорошо работает лишь до частот порядка 1,5—2 *Мгц*. На рис. 32 приведена зависимость входного сопротивления этой схемы от частоты. При более высоких частотах сопротивление входа резко падает. Причиной этого является наличие паразитных емкостей у транзисторов. Наибольший эффект дает применение схемы входа с высоким входным сопротивлением в приемниках прямого усиления.

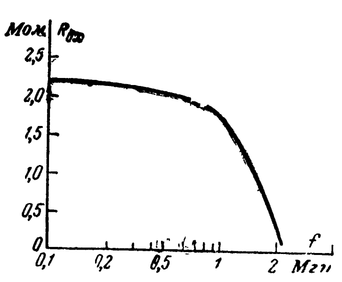


Рис. 32. Зависимость изменения входного сопротивления схемы (рис. 31) от частоты.

7. Конструктивный расчет приемной ферритовой антенны

Исходными данными для расчета антенны служат параметры сердечника (его начальная проницаемость, размеры), электрические данные входной цепи, а также (при расчете супергетеродина) параметры контура гетеродина. В понятие расчета входят определение числа витков и выбор конструкции антенной катушки на сердечнике, определение схемы включения, расчет величины связи антенного контура с входом приемника и, наконец, определение действующей высоты и эффективности антенны.

Иногда к антенне предъявляются дополнительные требования, такие как повышенная избирательность входной цепи, получение «чистой» диаграммы направленности (с четким нулем приема), простота изготовления и настройки, максимальная эффективность антенны и другие, которые заставляют вносить в типовой расчет изменения.

Число витков антенной катушки определяется в первую очередь величиной допустимой индуктивности входного контура. Зная частотный диапазон и конструктивные особенности самого приемника (схему сопряжения входного контура с другими контурами, емкость конденсатора настройки и других элементов входа), индуктивность катушки находят по формуле

$$L_к = \frac{2{,}53 \cdot 10^4}{f^2_{макс} C_{мин}},$$

где $C_{мин}$ — суммарная емкость конденсатора настройки (минимальная), монтажа и др. По этой формуле индуктивность определяется в микрогенри, емкость подставляется в формулу в пикофарадах, а частота — в мегагерцах.

Для быстрых прикидочных расчетов, когда выбираются все элементы входной цепи (включая и конденсатор настройки), целе-

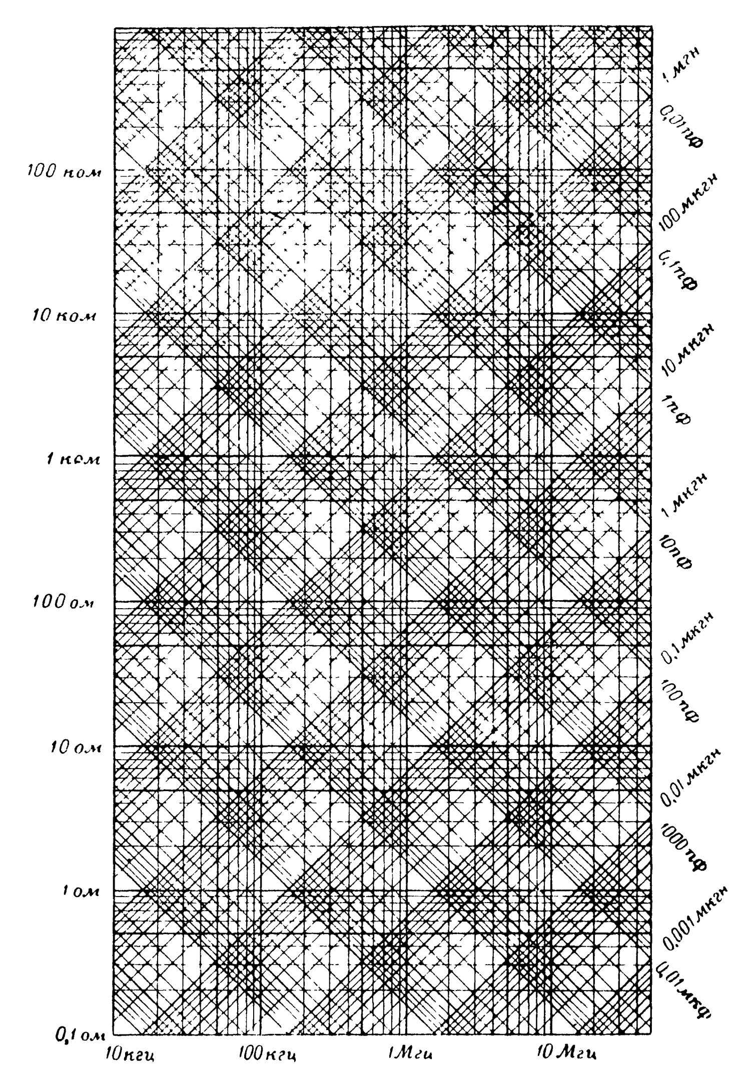


Рис. 33. Номограмма для определения $L_к C$ и f.

сообразно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 33. Номограмма позволяет быстро определить искомую индуктивность $L_к$, задавшись предположительной емкостью. По этой же номограмме можно определить и индуктивное сопротивление катушки при определенной частоте (левая сторона номограммы), а также резонансную частоту контура при известных индуктивности и емкости. Принцип пользования номограммой очень прост: при двух известных значениях величин (например, частоты и емкости) третья находится по точке пересечения двух прямых, соответствующих заданным значениям; затем прослеживается проходящая через нее прямая и на соответствующей грани прочитывается искомое значение (например, индуктивности).

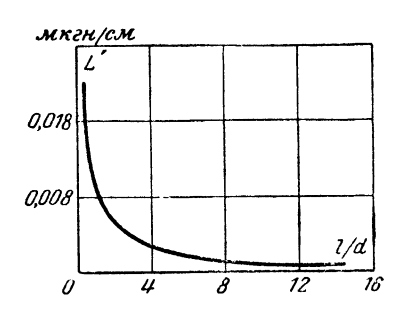


Рис. 34. К определению коэффициента L'.

Прежде чем рассчитывать число витков антенной катушки, следует выбрать определенную ее конструкцию (в зависимости от диапазона частот и назначения антенны). Наиболее прост расчет односекционной антенной катушки со сплошной намоткой. В этом случае число витков

$$w^2 = \frac{L_к}{L' D_к \mu_к}.$$

Коэффициент L' (коэффициент формы катушки, обратный ранее упоминавшемуся коэффициенту Ф) зависит от отношения длины катушки к ее диаметру (рис. 34). Наиболее сложным является определение коэффициента $\mu_к$. Он вычисляется как произведение четырех эмпирических коэффициентов

$$\mu_к = \mu_{экв} m_L p_L q_L.$$

Коэффициент m_L определяется отношением длины катушки к длине сердечника (рис. 35), коэффициент p_L зависит от расположения катушки на сердечнике (рис. 36), коэффициент q_L представляет собой отношение квадратов диаметра сердечника к диаметру катушек и, наконец, $\mu_{экв}$ — действующая проницаемость сердечника.

Как видно из хода расчета, для определения коэффициентов m_L, p_L и L' необходимо задаться прежде всего длиной катушки, которая определяется произведением диаметра провода на неизвестное нам число витков. С этим кажущимся противоречием можно легко освоиться при наличии некоторого опыта в проведении таких расчетов. Для облегчения расчета в табл. 4 приведены типовые данные ферритовых антенн для диапазонов коротких, средних и длинных волн в приемниках с ламповым входом.

Наряду с рассмотренным методом расчета антенной катушки часто пользуются более простым сравнительным методом расчета по известным параметрам образцовых катушек. В табл. 5 приводятся основные параметры антенных катушек и ферритовых сердечни-

ков, выпускаемых нашей промышленностью. Внешний вид сердечников показан на рис. 37. На фотографии изображены сердечники ферритовых антенн широковещательных приемников. Используя методы механической обработки, о которых рассказывалось выше, можно значительно разнообразить выбор типа сердечника.

Данные добротности в табл. 5 приведены только для «образцовых» катушек указанной индуктивности при однорядной намотке,

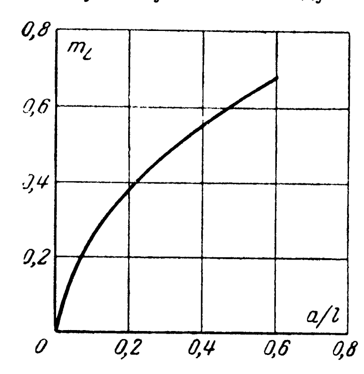


Рис. 35. Зависимость m_L от отношения a/l.

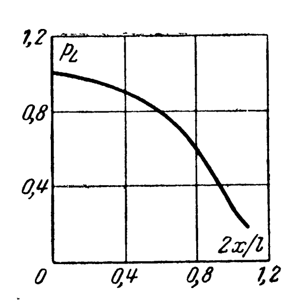


Рис. 36. Зависимость p_L от расположения катушки на стержне.

выполненной многожильным проводом ЛЭШО 21×0,07, и расположении катушки в средней части сердечника. При постоянной индуктивности «образцовой» катушки и диаметре сердечника 8 *мм*, изготовленного из феррита с проницаемостью $\mu_н=600$, число витков образцовой катушки (диаметр катушки 9,5 *мм*) зависит от длины сердечника и составляет 86, 81, 69 и 67 витков при длине сердечника 65, 80, 140 и 160 *мм* соответственно. Эти данные позволяют примерно определить требуемое число витков антенной катушки при любой другой индуктивности.

Таблица 4

Диаметр сердечника, *мм*	Число витков w			Индуктивность L, *мгн*		
	КВ	СВ	ДВ	КВ	СВ	ДВ
8	10—10	60—90	250—350	0,001—0,005	0,3—0,6	3—5
10	—	45—65	180—300	—	0,3—0,6	3—5
15	—	30—45	120—200	—	0,3—0,6	3—5

Наиболее просто примерный подсчет числа витков может быть произведен для сердечников тех же конфигураций, что и в «образцовых» катушках. Тогда требуемое число витков антенной катушки определяется как значение корня квадратного из отношения индуктивностей, рассчитываемой и «образцовой» катушек, умноженное на 1,1. При другом диаметре сердечника отношение под корнем умножается на отношение диаметров

Таблица 5

Рабочий диапазон частот, *Мгц*	Добротность, не менее	Частота (измеренная), *Мгц*	Индуктивность эталонной катушки с сердечником, *мкгн*	Магнитная проницаемость (начальная)	Размеры сердечников, *мм*			
					Стержни		Пластины	
					Диаметр	Длина	Сечение	Длина
0,05—0,35	120	0,35	4 100±20%	2 000	8 — 8 —	60 — 100 —	— 16×4 16×4 20×3	— 80 100 100
0,15—1,6	120	1,5	350±20%	600	8 8 8 8 —	60 65 80 100 —	— — 16×4 16×4 20×3	— — 80 100 100
—	150	—	—	400	— 8 — 8 8 10	— 125 — 140 160 200	20×3 16×4 20×3 — 25×5 25×5	115 125 125 — 160 200
4—12	100	12	5,2±20%	200	8 8 10	125 160 200	— 25×5 —	— 160 —
6—18	140	18	2,2±20%	100	8 8 10	125 160 200	— 25×5 —	— 160 —
18—30	100	30	0,9±20%	50	8 10	160 200	— —	— —
40—100	100	70	0,9±20%	30	8 10	160 200	— —	— —

При этом предполагается, что длина катушек (образцовой и расчетной) остается неизменной, так же как и соотношение диаметров антенной катушки и сердечника. Подобный метод подсчета витков может рекомендоваться лишь в том случае, если величины индуктивностей расходятся не более чем в 2 раза.

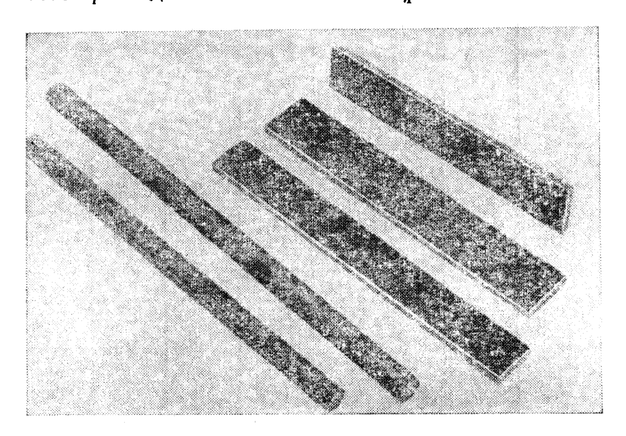


Рис. 37. Сердечники ферритовых антенн.

Если намотка катушки не сплошная (что позволяет несколько повысить действующую высоту антенны при одной и той же индуктивности катушки), то расчет числа витков усложняется из-за необходимости учитывать неполную связь между витками. Примером такого расчета может служить выбор оптимального расстояния между двумя секциями катушки длинноволновой антенны со следующими данными сердечника: $\mu_н=900$, $l=480$ *мм* и $d=20$ *мм*. Экспериментально было установлено, что коэффициент связи k между двумя секциями зависит от расстояния x между ними, как это показано на рис. 38, и изменяется по экспоненциальному закону.

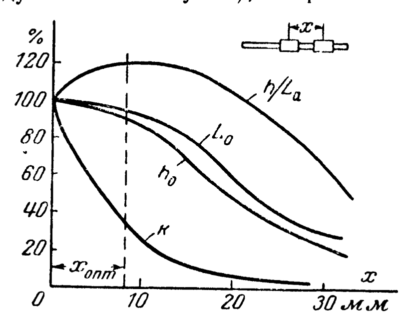


Рис. 38. К выбору оптимального расстояния между секциями антенны.

Пусть L_0 — индуктивность отдельного витка, h_{0i} — действующая высота отдельного витка, k — коэффициент связи между двумя симметрично расположенными обмотками и w — число витков в секции. Тогда действующая высота антенны

$$h = h_{01} + h_{02} + \ldots = 2\sum_{1}^{w} h_{0i},$$

а индуктивность антенной катушки

$$L_а = 2w^2(1 + k_{ср}).$$

Отношение $h/L_а$ показывает, насколько удачно выбрана величина связи между двумя секциями. Как видно из рис. 38, оптимальным для рассматриваемого случая является расстояние $h=8$ *см*; при этом расстоянии выигрыш по действующей высоте достигает

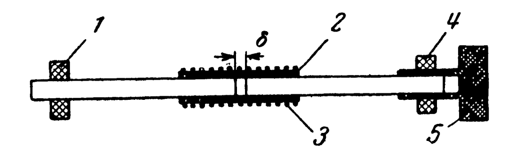


Рис. 39. Сердечник антенны с зазором.

1 — держатель; *2* — каркас; *3* — обмотка; *4* — держатель с винтовым отверстием; *5* — фланец с ходовой нарезкой.

20%. При распределенной намотке и, в частности, при прогрессивной намотке (с увеличивающимся шагом) увеличение отношения $h/L_а$ по сравнению с секционированной катушкой достигает 5—8%.

При конструктивном расчете ферритовой антенны следует учесть возможность регулировки индуктивности антенной катушки после ее установки в приемник. Чаще всего это производится перемещением антенной катушки вдоль стержня, что позволяет изменять индуктивность на 20%. Другой способ регулировки осуществляется путем изменения зазора между двумя половинками сердечника (рис. 39). На рис. 40 показана зависимость индуктивности антенной катушки от величины зазора δ между половинками сердечника, изготовленного из феррита 20 ВЧ. Применяя ферриты с большей магнитной проницаемостью, можно добиться большего диапазона регулировки индуктивности. Существует еще один способ изменения индуктивности антенны, заключающийся в изменении расстояния между секциями антенной катушки (рис. 41). Такая регулировка благодаря весьма большому диапазону изменения индуктивности может быть использована как основной способ настройки ферритовой антенны, позволяя обойтись без конденсатора переменной емкости.

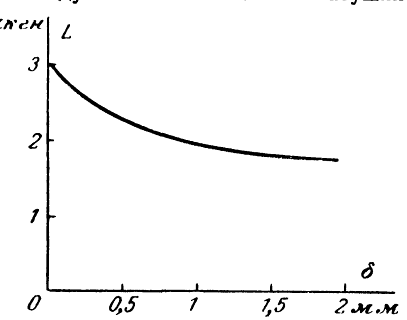


Рис. 40. Влияние зазора на индуктивность магнитоприемника.

Чтобы уменьшить длину соединительных проводов, ферритовую антенну надо устанавливать как можно ближе к входному каскаду. Вблизи от антенны не должно быть короткозамкнутых витков. Закреплять антенну надо в держателях с мягкими прокладками. Во

избежание увеличения собственной емкости антенна должна быть удалена от шасси на расстояние не менее 1—3 *см,* а также максимально удалена от трансформаторов и электродинамического громкоговорителя.

При конструировании ферритовой антенны приемника, имеющего несколько поддиапазонов, может быть выбрана совмещенная или автономная схема. Совмещенная схема ферритовой антенны предусматривает намотку стольких антенных катушек, сколько поддиапазонов имеет приемник, или изменения числа витков путем отключения части витков с переходом на другой поддиапазон.

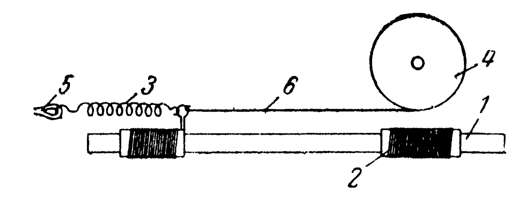


Рис. 41. Способ регулировки индуктивности антенной катушки.

1 — сердечник; 2 — секция катушки; 3 — пружина; 4 — шкив; 5 — точка крепления; 6 — нить.

Автономная схема антенны выполняется исходя из условия неизменности числа витков антенной катушки на всех поддиапазонах. Ее индуктивность выбирается минимальной исходя из условия настройки на высшую частоту диапазона. Совмещенная схема обеспечивает получение более высокой чувствительности, хотя она конструктивно сложнее.

8. Повышение эффективности приемных ферритовых антенн

Основным типом ферритовых антенн в настоящее время является описанная выше антенная катушка (рамка) с ферритовым сердечником. Этот тип антенн развивался в основном по пути совершенствования видов намотки, выбора оптимальных форм и материала сердечника.

Сравнительный расчет приемной ферритовой антенны показывает, что при правильно выполненных элементах входа она обычно сравнима по эффективности со штырем в 1—2 *м.* В ряде случаев подобная эффективность оказывается недостаточной, вследствие чего возникает необходимость увеличения действующей высоты ферритовой антенны. Практика конструирования ферритовых антенн накопила достаточный опыт в области повышения эффективности. Все эти методы приводят к некоторому усложнению конструкции.

Самым простым путем повышения эффективности является увеличение геометрических размеров сердечника. Выигрыш обусловливается при этом тем, что индуктивность антенной катушки растет с увеличением диаметра сердечника пропорционально первой степени этого увеличения, в то время как действующая высота пропорциональна квадрату диаметра. Неудобство этого метода заключается в увеличении размеров и веса сердечника, так как рост диа-

метра должен сопровождаться ростом длины с тем, чтобы действующая проницаемость сердечника осталась неизменной. Иначе говоря, увеличение диаметра ведет к увеличению объема и, следовательно, веса сердечника (удельный вес феррита около 5 *г/см³*).

Иногда встречается затруднение в выборе сердечника соответствующего диаметра. Выход из этого затруднения может быть найден в использовании набора цилиндрических стержней, связываемых для этого в пучок. При этом полезная площадь сечения такого сердечника, определяющая действующую высоту, увеличивается в $Z^{0,42}$ раз, где Z — число стержней в пучке, а индуктивность — в $Z^{0,38}$ раз, если отношение l/d достаточно велико. На рис. 42 показана конструкция сердечника антенны, изготовленного из пучка цилиндрических стержней.

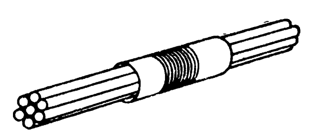


Рис. 42. Антенна с сердечником в виде пучка стержней.

Другой метод увеличения действующей высоты ферритовой приемной антенны состоит в последовательном или параллельном соединении нескольких ферритовых антенн. Идея последовательного соединения нескольких антенн близка к идее секционирования антенной катушки. Действительно, разбивая антенную катушку на две части, размещая эти части на двух стержнях и соединяя их последовательно, мы уменьшаем индуктивность антенны почти в 2 раза, так как связь между антеннами уже при расстоянии в 2—3 *см* друг от друга ничтожно мала. Это позволяет увеличить общее число витков в обеих катушках примерно в $\sqrt{2}$ раз при сплошной намотке.

Если такое расчленение антенной катушки произвести на трех стержнях, то число витков можно увеличить примерно в $\sqrt{3}$ раз, на четырех — примерно в 2 раза и т. д. Следует, однако, отметить, что увеличению числа стержней сопутствует увеличение связи между ними, поэтому индуктивность антенной катушки, намотанной на n стержнях, уменьшается меньше чем в n раз, так как индуктивность каждой из частей будет равна:

$$\frac{L_{\text{общ}}}{n}(1+k_1+k_2+\ldots+k_{n+1}),$$

где $k_1, k_2, \ldots, k_{n-1}$ — коэффициенты взаимоиндукции.

При последовательном соединении отдельных антенн стержни должны быть параллельны, а отдельные катушки антенны не должны быть включены навстречу друг другу, что достигается одинаковой намоткой катушек и соответствующим соединением концов намоток (рис. 43).

Параллельное соединение отдельных катушек (рис. 44) приводит к таким же положительным результатам. При отсутствии или малой связи между двумя антенными катушками, включенными параллельно, индуктивность такой антенны уменьшается вдвое, что также может быть компенсировано увеличением числа витков $\sqrt{2}$ раз. Как и при последовательном включении, при большом числе стержней появляется возможность увеличения числа витков, а следовательно, увеличения эффективности антенны. Препятствием к увеличению стержней здесь, помимо указанных выше факторов,

следует считать быстрое увеличение собственной емкости ферритовой антенны.

Некоторый выигрыш в эффективности может быть достигнут путем применения сердечника с переменным (по длине) сечением. В этом случае утолщенные части сердечника используются как концентраторы внешнего поля. В качестве примера рассмотрим ферритовую антенну, сердечник которой показан на рис. 45,*а*. Измерения, проведенные с ферритами, имеющими малую магнитную проницаемость, показывают, что если на расстоянии трети от концов сердечника его диаметр увеличить вдвое, оставив диаметр средней части неизменным, то действующая высота антенны возрастает в 2,5—3 раза, а индуктивность антенной катушки при этом — всего лишь на 20—30%. Указанные соотношения размеров фигурного сердечника приведены лишь в качестве примера и, вероятно, неполностью характеризуют максимальный выигрыш, который может быть получен с помощью предлагаемого метода.

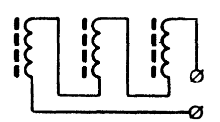


Рис. 43. Последовательные включение антенных катушек.

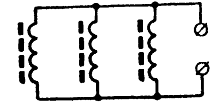


Рис. 44. Параллельное включение антенн.

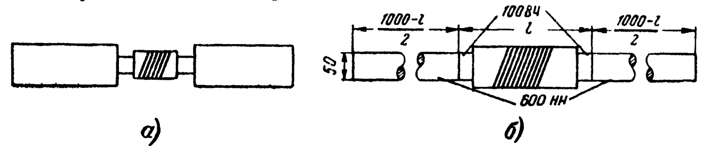


Рис. 45. Гетерогенные сердечники ферритовых антенн.

Другим путем увеличения магнитного потока является применение сердечника, состоящего из частей, обладающих разными магнитными свойствами (рис. 45,*б*) — гетерогенного сердечника. В частности, для концентрации магнитного потока внешнего поля бо́льшая часть сердечника выполняется из материала с повышенной магнитной проницаемостью, в то время как несущая антенную катушку часть сердечника, материал которой определяет добротность антенны, может быть выполнен из феррита с меньшей проницаемостью, но и с меньшими потерями.

На рис. 46 приведены экспериментальные кривые, характеризующие увеличение добротности такой антенны при изменении длины «вставки» из феррита с малыми потерями. Сердечник антенны собирался из шайб диаметром 50 *мм* и высотой 14 *мм*. Основу его составляли шайбы из материала 600 НН, а «вставка» выполнялась из более высокочастотного феррита 100 ВЧ. Общая длина сердечника составляла 1 *м*.

Некоторой модификацией этого метода может быть введение в сердечник «немагнитного» зазора. В этой конструкции сердечник антенны состоит из двух половинок, скрепленных с помощью прокладки (шайбы) из полистирола (приклеивается к сердечнику эпоксидной смолой). Введение такой прокладки увеличивает в 1,5 раза добротность антенной катушки при увеличении числа витков ее на 20%. Толщина прокладки берется порядка 2—2,5 *мм*.

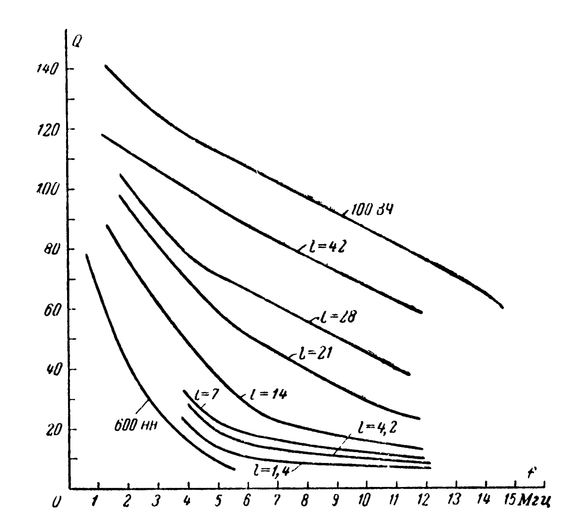


Рис. 46. Изменение добротности магнитоприемника с гетерогенным сердечником в зависимости от длины «вставки».

Возможны, конечно, и комбинации обоих методов: сердечники с фигурным профилем могут собираться из различных частей, состоящих из ферритов с разной проницаемостью.

Следует учесть, что неплотное прилегание составных частей сердечника уменьшает его проницаемость. Учет этого уменьшения может быть произведен по формуле

$$\mu_з = \frac{\mu}{r(\mu - 1) + 1},$$

где $\mu_з$ — действующая проницаемость сердечника с зазором;
r — отношение длины воздушной прослойки к общей длине сердечника.

Для улучшения диаграммы направленности в ферритовых антеннах применяется электростатический экран, изготовленный из хорошо проводящего материала и повторяющий по форме сердечник антенны. При этом проводящая поверхность экрана не должна образовывать контуров тока, совпадающего по направлению с током в антенной катушке. Для этого, например, в цилиндрическом экране по всей его длине прорезается щель. Практика показывает, что экран должен располагаться на достаточном удалении от ан-

тенной катушки (не ближе 1 *см*). В качестве материала для экрана обычно используется тонкая посеребренная латунная или бронзовая фольга. В некоторых конструкциях для экрана применяется ткань (нейлоновая или другая) с вплетенными в нее тончайшими металлическими нитками. Возможно также применение металлических покрытий.

В рассмотренных нами конструкциях ферритовых антенн предусматривалась классическая схема их включения. Считалось, что антенная катушка является частью настроенного антенного контура. Естественным при этом был выбор материала сердечника с малыми магнитными потерями. Однако в некоторых случаях представляется целесообразным применение ферритов, граничная частота которых ниже рабочего диапазона антенны. Такие антенны можно назвать апериодическими, так как при этом сопротивление потерь обычно превышает индуктивное сопротивление антенной катушки. Одна из таких антенн описана далее.

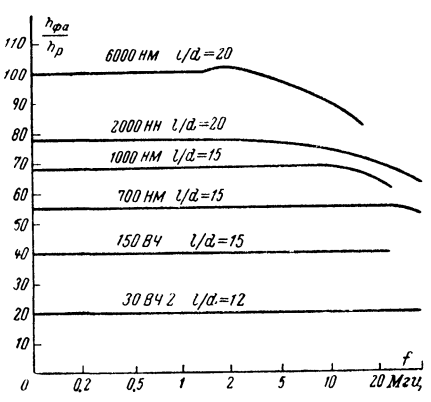


Рис. 47. Результаты измерения ферритовых сердечников в стандартном поле.

С целью определения характеристик ферритовых сердечников за пределами граничной частоты нами совместно с инженером А. И. Поляковым были проведены измерения э. д. с., наводимой в одновитковой антенной катушке стандартным полем (см. гл. 4) на различных частотах. Во избежание постороннего влияния одновременно измерялась э. д. с., наведенная в воздушной рамке $h_р$.

Результаты измерения действующей высоты антенны с сердечниками различных марок приведены на рис. 47. Как видно из графиков, падение магнитной проницаемости начинается в частотной области, лежащей примерно на порядок выше по сравнению с табличной граничной частотой. Это позволяет использовать, в частности, для длинно- и средневолнового диапазона ферриты, имеющие начальную проницаемость 2 000—6 000, для коротковолнового диапазона — 1 000—600 и т. д. Большие потери, естественно, не позволяют использовать резонансные явления в качестве меры повышения входного напряжения, что в известной степени компенсируется увеличением проницаемости сердечника и простотой включения антенны при работе ее на длинный фидер.

Говоря об апериодических антеннах, нельзя не остановиться на одном из возможных методов их включения. Речь идет о так называемых сверхминиатюрных «интегральных» антеннах или СИА.

Интегральная антенна представляет собой объединение в одной конструкции собственно антенны (очень короткого вертикального штыря или рамочной антенны) и транзистора. При этом по мысли авторов (Тернера и Мейнке) транзистор обеспечивает согласование

антенны с входным кабелем, одновременно усиливая сигнал, принимаемый антенной. Они, в частности, указывают, что «транзистор увеличивает» сопротивление излучения антенны и тем самым предотвращает рассеяние большей части мощности в сопротивления транзистора и вводах антенны» («Электроника» 1967, № 12).

Одним из вариантов СИА является направленная антенна, имеющая диаграмму в виде кардиоиды. Схема такой антенны представлена на рис. 48. В цепь база — эмиттер транзистора включена рамка с плечами *1* и *3*. Ток, возникающий в рамке, усиливается и складывается с током направленной антенны, который возникает в плече *2*, включенным в цепь коллектора. Изменяя режим работы транзистора и размеры плеча *2* легко можно подобрать желательные фазовые и амплитудные соотношения обоих антенн. Нетрудно себе представить что рамочная антенна может быть заменена ферритовой, а это позволит еще более сократить размеры антенны. Вопрос об эффективности антенн СИА находится в стадии теоретической и главным образом экспериментальной проверки. Однако сообщают, что они будут применяться в системах связи на частотах 10—20 *Мгц*.

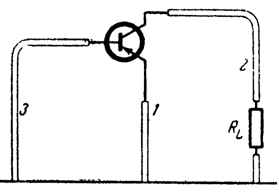


Рис. 48. Схема интегральной антенны.

Повышение эффективности ферритовой антенны может быть достигнуто за счет рационального выбора магнитоприемника. В частности, в диапазоне УКВ положительный эффект дает использование широкого витка, действующая высота которого в 1,6—1,8 раза превышает действующую высоту одиночного витка из провода. Малое резонансное сопротивление антенны типа «широкий виток» обеспечивает сравнительно низкий шум-фактор антенны, что обусловливает дополнительное повышение чувствительности приемника в диапазоне метровых волн (λ=8—2 *м*).

Максимум эффективности антенны «широкий виток» достигается при выборе оптимального диаметра сердечника. Так, для диапазона 80—100 *Мгц* оптимальный диаметр составляет 14 *мм* при сердечнике из материала 30 ВЧ-2.

Для диапазона 40—60 *Мгц* величина оптимального диаметра сердечника, при котором действующая высота антенны «широкий виток» имеет наибольшее значение по сравнению с витком из тонкого провода того же материала, понижается до 8—10 *мм*.

Резонансное сопротивление может быть еще более понижено при условии параллельного включения двух или большего числа широких витков. При этом параллельное соединение широких витков должно иметь общую емкость. При раздельной настройке антенн их параллельное включение приведет к падению добротности.

В заключение раздела, посвященного приемным ферритовым антеннам, остановимся на сравнительной оценке различных антенн. Сравнительная оценка должна проводиться на основе всестороннего учета всех параметров, определяющих эффективное использование ферритовой антенны. С этой точки зрения знание действующей высоты антенны явно недостаточно для такой оценки, поскольку она определяет лишь потенциальную возможность преобразования энергии поля в энергию входной цепи. Реализация этой возможности определяется величиной активного сопротивления антенны $R_а$.

Оба этих основных параметра могут быть объединены в один, если воспользоваться формулой коэффициента усиления антенны (предложенной Г. А. Лавровым и А. С. Князевым, «Приземные и подземные антенны», изд-во «Советское радио», 1965).

$$G = \frac{30\,(mh)^2}{R_a D_0} = A_1\,\frac{h^2}{R_a},$$

где D_0 — коэффициент направленного действия, постоянный для всех ферритовых антенн ($D_0 = 1{,}64$);

m — волновое число ($m = 2\pi/\lambda$).

Таблица 6

Параметр	Антенны			Примечание
	1	2	3	
Идуктивность магнитоприемиика, *мкгн*	1	1	0,03	Без учета витков связи
Добротиость	170	150	120	Измерена в стаидартном поле
Число витков	4	10	2	Витки связи
Действующая высота	1,2	1,3	1,41	На частоте 47,75 *Мгц*
Сопротивление потерь, *ом*	1,85	2,1	0,44	
Мощность, развиваемая аитенной, *вт*	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	
Коэффициент усиления	$1{,}55 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$9{,}6 \cdot 10^{-3}$	
Коэффициеит шума аитенны	1 000	960	260	При иагрузке иа вход лампы 1Ж29Б
Чувствительиость по полю (измереиная иа макете стаидартиого поля)	3,5	3,0	1,7	Чувствительность приемиика по входу лампы 5 *мкв*
Чувствительность	5	5	3,5	Расчетная

Коэффициент A_1 является постоянной величиной для данной частоты.

Для того чтобы выяснить физический смысл коэффициеита усиления, напишем выражение для мощности, развиваемой ферритовой антенной на входе приемника, характеризуемого сопротивлением входа $R_{вх}$:

$$P_{вх} = \frac{e^2 R_{вх}}{(R_a + R_{вх})^2}.$$

При условии полного согласования антенны и входа приемника $R_{вх} = R_a$, тогда

$$P_{вх} = \frac{e^2}{4R_a} = E^2\,\frac{h^2}{4R_a}.$$

Полагая напряженность поля E единичной, можно записать:

$$P_{вх} = \frac{1}{4} \frac{h^2}{R_а} = A_2 \frac{h^2}{R_а}.$$

Таким образом, выражения для G и $P_{вх}$ соответствуют друг другу с точностью до постоянного множителя, что указывает на их внутреннюю связь. Иначе говоря, коэффициент усиления характеризует, по крайней мере, качественно мощность, выделенную на согласованной нагрузке (входе приемника) и с этой точки зрения вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к критерию эффективности ферритовых антенн.

Определим на основе этого критерия эффективность некоторых ферритовых антенн, рассмотренных выше: антенны из трех сердечников, объединенных одной антенной катушкой (антенна *1*); антенны, состоящей из трех параллельно включенных антенных катушек, каждая из которых имеет свой сердечник (антенна *2*); и, наконец, антенны *3*, в которой три сердечника имеют общий магнитоприемник — широкий виток. Сердечники всех антенн одинаковы: они изготовлены из материала 30 ВЧ2, имеют длину 80 *мм* и диаметр 8 *мм*, таким образом вес и габариты всех трех антенн одинаковы.

Результаты расчета, а также измерения чувствительности приемника, проведенные в стандартном поле, даны в табл. 6.

Как видно из данных таблицы, наибольшим коэффициентом усиления обладает антенна с магнитоприемником в виде широкого витка. Больший коэффициент усиления проявился и в лучшей реальной чувствительности приемника с этой антенной.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПЕРЕДАЮЩИЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ

9. Параметры передающих антенн

Если действующая высота в приемных антеннах является коэффициентом пропорциональности между напряженностью электромагнитного поля и э. д. с., наводимой в антенне, то сопротивление излучения является коэффициентом пропорциональности между квадратом тока в антенне и излучаемой мощностью.

Сопротивление излучения электрических линейных антенн зависит от их геометрических размеров, а точнее от соотношения геометрической длины антенны l и длины излучаемой волны λ. Для полуволнового вибратора ($l/\lambda=0,5$) сопротивление излучения составляет 73 *ом*.

Сопротивление излучения элементарного диполя тесно связано с действующей высотой антенны. Эта связь сохраняется и для магнитных антенн. Магнитные антенны, как мы уже убедились, значительно уступают по действующей высоте электрическим антеннам, естественно, что и сопротивление излучения их также существенно меньше.

Вместе с тем присущие ферритовым антеннам ценные свойства, такие как способность излучать энергию в непосредственной близо-

сти к проводящим поверхностям, простота настройки и малые размеры, не раз оказывались решающими качествами, определяющими выбор ферритовых антенн в качестве передающих антенн маломощных передатчиков.

Рассмотрим ферритовую антенну с энергетической стороны — определим ее к. п. д., который, как и у всякой антенны, оценивается отношением сопротивления излучения R_Σ к общему активному сопротивлению антенны, т. е.

$$\eta_a = \frac{R_\Sigma}{R_\Sigma + R_п}.$$

Для большей наглядности преобразуем выражение для к. п. д. через наиболее употребительные параметры антенны. Сумма в знаменателе может быть записана как частное от деления реактивного сопротивления антенной катушки на добротность антенного контура. Тогда формула для к. п. д. приобретает следующий вид:

$$\eta_a = \frac{20\,(mh_a)^2\,Q}{\rho} \approx 800\,\frac{h_a^2}{\lambda^2 R_п}.$$

Из приведенной формулы очевидны основные факторы, определяющие к. п. д. ферритовой антенны. Решающим фактором является величина действующей высоты антенны. Существенно также влияние добротности Q и реактивного сопротивления ρ антенной катушки.

Оценим к. п. д. ферритовой антенны с количественной стороны, пользуясь данными предыдущего сравнительного расчета (см. стр. 30), где были получены следующие данные: $h=0{,}02$ *м* при $\lambda=300$ *м*. Реактивное сопротивление антенной катушки составляет примерно 5 *ком*, к. п. д. ферритовой передающей антенны чрезвычайно низок ($1{,}3\cdot 10^{-5}$ %). Следует, однако, отметить, что и линейные электрические антенны малых размеров имеют также низкий к. п. д. Уменьшение размеров электрических антенн, помимо сокращения значения действующей высоты, приводит к появлению еще одного существенного недостатка.

Дело в том, что входное сопротивление малой антенны характеризуется малым сопротивлением излучения и большим реактивным (емкостным) сопротивлением. Это приводит к тому, что величина его очень сильно зависит от ближайшего окружения антенны и его изменения.

Если емкость антенны входит в состав контура возбудителя, как это часто делается в маломощных передатчиках, то изменения емкости приведут к изменениям частоты генератора. Во избежание этого антенну обычно слабо связывают с колебательным контуром, что достигается подсоединением параллельно антенне конденсатора для того, чтобы относительные изменения емкости контура были достаточно малыми. Практика показывает, что величина емкости параллельного конденсатора должна превышать среднюю емкость антенны примерно в 5 раз. Соответственно, примерно во столько же раз уменьшается к. п. д. электрической антенны. Магнитные антенны не имеют этого недостатка, так как магнитная проницаемость в окружающих антенну предметах обычно постоянна.

Расчет показывает, что при емкости электрической антенны $C_a=20$ *пф*, добавочной емкости $C_{доб}=100$ *пф*, добротности контура

$Q=100$ и действующей высоте антенны $h_а = 15$ *см* к. п. д. электрической антенны составляет:

при частоте $f = 0{,}5$ *Мгц* . . . . $5{,}26 \cdot 10^{-8}$
при частоте $f = 2{,}182$ *Мгц* . . . $4{,}35 \cdot 10^{-6}$
при частоте $f = 8{,}364$ *Мгц* . . . $2{,}46 \cdot 10^{-4}$

Как видно из приведенного примера, малая электрическая антенна имеет к. п. д. примерно того же порядка, что и ферритовая антенна.

Разберем более подробно условия, при которых ферритовая антенна, обладающая меньшим к. п. д., может оказаться предпочтительнее электрической антенны.

Такие условия могут возникать в ряде реальных применений маломощных передатчиков, связанных с излучением электромагнитного поля в средах, обладающих проводимостью.

В частности, если обе антенны погружены в морскую воду, то плотность поля, излучаемого магнитной антенной, превосходит плотность поля электрической антенны на 11 *дб*, что можно объяснить лучшими условиями согласования магнитной антенны.

Магнитные передающие антенны оказываются предпочтительнее электрических и в том случае, когда они располагаются в непосредственной близости к проводящей поверхности (морской воде или хорошо проводящей земле). Это объясняется интерференцией радиоволн, которая приводит к появлению мертвой зоны непосредственно над проводящей средой в случае излучения электромагнитной энергии электрическим диполем. В то же время условия распространения радиоволн, излучаемых магнитной антенной, оказываются более благоприятными, что приводит к некоторому увеличению дальности в последнем случае при условии, что мощность, излучаемая обоими антеннами, одинакова.

Изучение условий распространения радиоволн над морской водой привело к разработке передающей ферритовой антенны для спасательного аварийного передатчика. Такой передатчик предназначен для отыскания людей, потерпевших бедствие в открытом море, со спасательных кораблей или самолетов. Анализ условий работы спасательного передатчика приводит конструкторов разработки к выводу, что ферритовая антенна оказывается значительно эффективнее антенн других типов, обеспечивая наибольшую надежность работы и максимальную дальность действия. Внешний вид такого передатчика показан на рис. 49. Он заключен в полый диэлектрический цилиндр длиной 50 *см* и диаметром 10 *см* и вместе с питанием весит 3,6 *кГ*. Такой передатчик обеспечивает непрерывную работу в течение 72 *ч* и отыскание его в радиусе до 10 *км*.

Как упоминалось, диаграмма направленности ферритовых антенн в горизонтальной плоскости имеет вид «восьмерки». В большинстве случаев к передающим антеннам предъявляются требования всенаправленного излучения. Выход из этого положения может быть найден путем использования двух взаимно перпендикулярных антенн. Обязательным условием получения всенаправленной антенны при этом является сдвиг фаз питающих антенны токов на 90°.

Сдвиг фазы может быть получен путем применения специальных фазосдвигающих цепей или же наиболее просто — расстройкой двух антенн вверх и вниз относительно частоты генератора.

Будучи простым в исполнении этот способ, однако, приводит к уменьшению излучаемой мощности и требует специальной под-

стройки в диапазоне частот. На рис. 50 приводятся варианты обоих способов получения всенаправленного излучения. На рис. 50,*б* показана схема широкополосного фазосдвигающего моста КВ диапазона, которая обеспечивает сдвиг фазы в пределах 90° между антеннами в диапазоне 3—25 *Мгц* (с точностью до 1,5°).

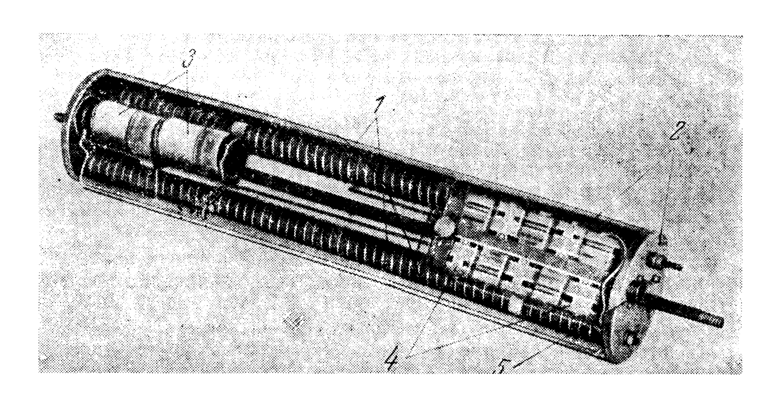


Рис. 49. Спасательный передатчик с ферритовой антенной.
1 — ферритовые антенны; *2* — корпус; *3* — батареи; *4* — детали генератора; *5* — подстроечный штифт.

Схема состоит из двух ветвей каскадно соединенных мостов. Схема каждого моста — классическая, однако с таким же эффектом могут быть использованы эквивалентные ей схемы, например, несимметричные.

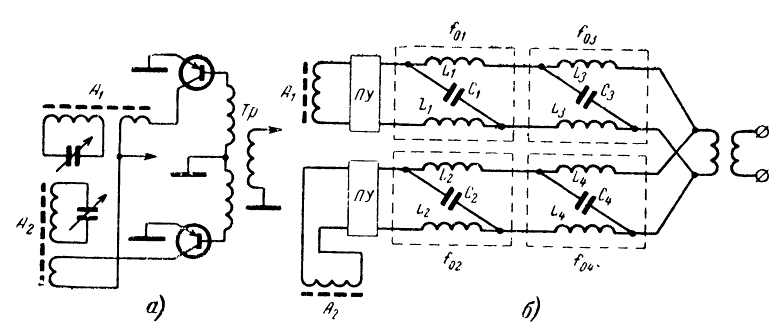


Рис. 50. Схемы образования всенаправленной ферритовой антенны.
а — при расстройке контуров; *б* — с применением фазосдвигающего моста.

Частоты, на которых должны резонировать плечи моста, следующие: $f_{01}=6{,}0$ *Мгц*; $f_{02}=1{,}6$ *Мгц*; $f_{03}=64{,}5$ *Мгц*; $f_{04}=16{,}7$ *Мгц*; в данном случае диапазон работы схемы составляет 2—35 *Мгц*. Если нужен другой диапазон, то нужно пропорционально изменить частоты f_{01}—f_{04}.

Величины L_i и C_i находятся исходя из двух условий:

$$R=\sqrt{\frac{L_i}{C_i}} \quad \text{и} \quad f_{0i}=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_iC_i}}.$$

Например, при $R=200$ *ом*: $L_1=5{,}3$ *мкгн*; $L_2=20{,}0$ *мкгн*; $L_3=0{,}5$ *мкгн*; $L_4=1{,}9$ *мкгн*; $C_1=130$ *пф*; $C_2=510$ *пф*; $C_3=12{,}3$ *пф*; $C_4=47{,}6$ *пф*.

Каждая антенна подсоединяется к одной из ветвей моста с помощью переходного согласующего устройства (*ПУ*). В качестве последнего может быть использована ламповая схема, обеспечивающая постоянное сопротивление необходимой величины в диапазоне частот, т. е. постоянство R_a.

Если можно допустить большее отклонение сдвига фазы, то может быть перекрыт и больший диапазон. Например, при отклонении $\pm 2{,}5°$ диапазон работы схемы расширяется от 1,5 до 30 *Мгц*. При этом $f_{01}=5{,}52$ *Мгц*; $f_{02}=1{,}270$ *Мгц*; $f_{03}=78{,}4$ *Мгц*; $f_{04}=18{,}05$ *Мгц*.

10. Ферритовая антенна спасательного передатчика

Для отыскания потерпевших бедствие на море международными соглашениями регламентированы частоты: 500 *кгц*, 2,182; 8,364; 121,5 и 156,8 *Мгц*.

Таким образом, задача конструирования ферритовой передающей антенны была существенно облегчена, поскольку работа передатчика велась на одной частоте.

Антенна представляет собой два ферритовах стержня, на которых намотаны антенные катушки, соединенные параллельно. Диаметр сердечников по конструктивным соображениям выбирался равным 2 *см*. Материал сердечников и их длина подбирались экспериментально.

Как видно из рис. 50, длина сердечников примерно равна длине корпуса передатчика (около 50 *см*). Число витков антенной катушки 25—30. Намотка катушки — распределенная. Оба сердечника разделены схемой передатчика для уменьшения взаимоиндуктивности антенных катушек.

Представляет интерес обоснование параметров передающей ферритовой антенны («Телефункен Цайтунг», 1958, № 21). Оно проводилось на основе экспериментального изучения влияния основных факторов, определяющих эффективность антенны на к. п. д. ее. Мы уже говорили о к. п. д. в сравнительном аспекте. Однако значение к. п. д. становится физически более наглядным, если с его помощью выразить напряженность поля в дальней зоне. Напряженность электрического поля в этом случае может быть выражена для магнитного диполя формулой

$$E \cong 6{,}7\ \frac{\sqrt{\eta_д P_a}}{r},$$

где r — расстояние от передатчика до точки наблюдения;

P_a и η_a — соответственно мощность, подводимая к антенне, и ее к. п. д.

Формула эта предполагает, что антенна настроена в резонанс с помощью последовательно включаемого конденсатора, т. е. эквивалентная схема выхода передатчика представляет собой последовательную цепь генератора, индуктивности антенной катушки, сопротивления потерь $R_п$, сопротивления излучения R_Σ и конденсатора

настройки *C*. Приведенная формула показывает прямую связь к. п. д. антенны и дальности действия передатчика.

Возвращаясь к выбору параметров антенны, рассмотрим кривые, характеризующие зависимость к. п. д. антенны от начальной магнитной проницаемости сердечника и соотношения l/d.

Приведенные на рис. 51 данные показывают порядок полученных значений к. п. д., а также позволяют правильно выбрать материал сердечника. Для частоты 500 *кгц* оптимальным материалом является феррит с начальной магнитной проницаемостью 400—500, для частоты 2,82 *Мгц* — 150 и для частоты 8,364 *Мгц* — порядка 100.

Наибольший к. п. д. обеспечивается при условии, что соотношение длины к диаметру составляет 36, однако разница между значениями к. п. д, полученными для этого соотношения и для соотношения $l/d=25$, незначительна и имеет тенденцию к уменьшению с ростом частоты. Поэтому, исходя из соображений получения минимальных размеров антенны и, следовательно, передатчика в целом, длина сердечника была выбрана равной 50 *см*.

Мощность источников питания передатчика составляла 0,4 *вт* при частоте 2,05 *Мгц*, к. п. д. ферритовой антенны — $6 \cdot 10^{-6}$. Размещение ферритовых антенн и элементов передатчиков показано на рис. 50. Как видно из фотографии, ферритовые антенны расположены по обе стороны от элементов схемы (батарей питания ламп, конденсатора настройки и т. д.). Особенностью ферритовых антенн является то, что они допускают близкое расположение элементов передатчика без существенного ухудшения параметров антенны, что позволяет сделать передатчик компактным.

Эффективность передающей ферритовой антенны проверялась в реальных условиях на море путем определения дальности обнаружения спасательного передатчика судовым пеленгатором.

В пеленгаторе использовался способ определения направления прихода радиоволн по минимуму сигнала на слух. Оператор, вращая направленную антенну, отмечал значения угла поворота антенны, при котором сигнал переставал быть слышным. Этот угол носит в пеленгаторах название «угла молчания» и характеризует напряженность принимаемого сигнала. Для того чтобы сигнал передатчика был хорошо слышен, использовалась модуляция тоном 1 000 *гц*.

Для сравнения определялась также дальность обнаружения такого же передатчика с электрической (дисковой) антенной.

В качестве критерия допустимого уровня ослабления сигнала передатчика принималась величина угла молчания судового пеленгатора. Зная угол молчания, можно определить и величину напряженности поля *E*, создаваемую передатчиком. Оба эти параметра объединяются в одном — модуле чувствительности *M* в виде произведения, которое является постоянной величиной для данного пеленгатора. Для пеленгатора типа «Телегон-II, применявшегося при испытаниях, модуль чувствительности составлял 35 *мкв/м · град*. Условия первого испытания были следующими: передатчик располагался в спасательной лодке на деревянной палубе, возвышавшейся над уровнем воды на 50 *см*. Лодка находилась на якоре, в то время как судно с размещенным на нем пеленгатором курсировало около лодки то приближаясь, то удаляясь. Расстояния на этой прямой были помечены буями, при прохождении которых измерялась ширина угла молчания.

Результаты измерений показаны на рис. 52 (кривая *I*). Как видно из приведенных данных, дальность обнаружения Д составила

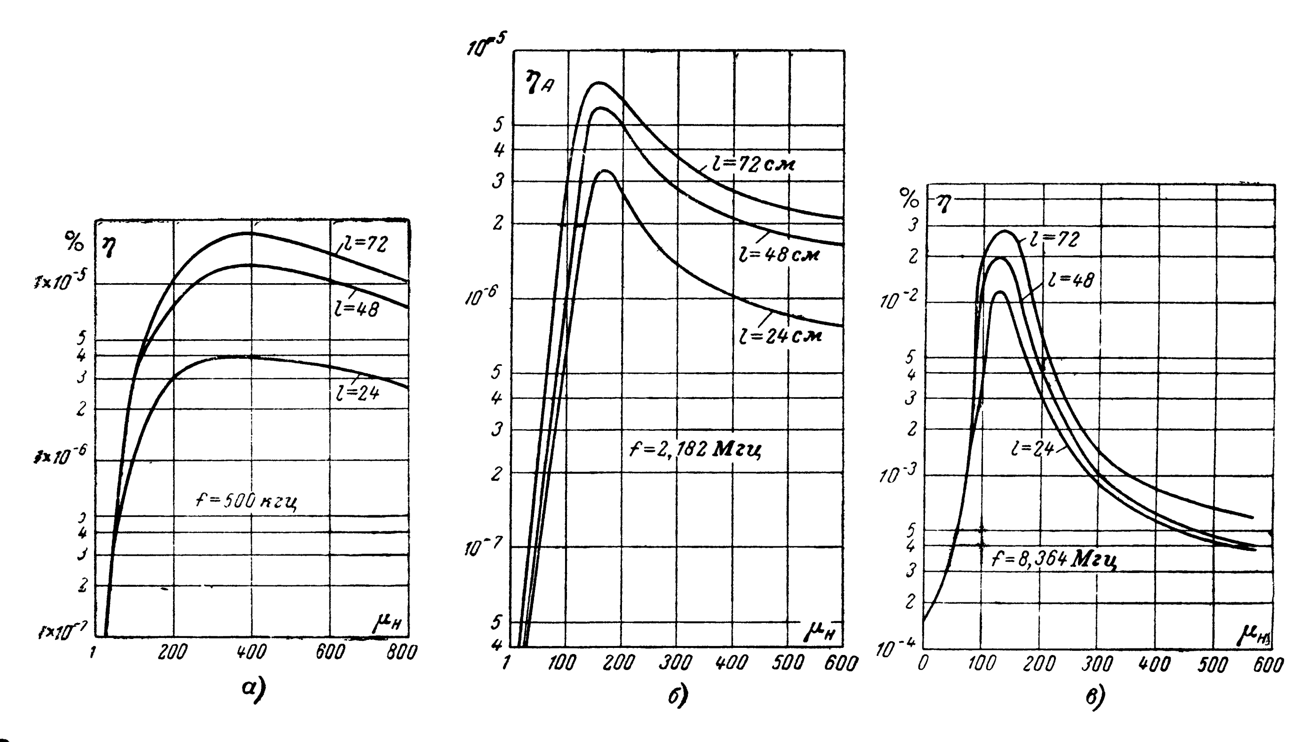


Рис. 51. Кривые, обосновывающие выбор сердечника передающей ферритовой антенны.

4—5 морских миль (6—8 *км*), при этом применение ферритовой антенны способствовало получению максимальной дальности.

Во время второго испытания передатчик плавал непосредственно на воде. Измерения проводились по той же методике. Результаты измерений приведены на том же графике (кривая *II*). Как видно из кривой *II*, в этом положении передатчика дальность обнаружения уменьшалась примерно в 2 раза из-за увеличения затухания в морской воде. Особенно заметным уменьшение дальности было у передатчика с электрической антенной, что вполне согласуется с предварительными расчетами.

Полученные разработчиками практические данные были признаны ими обнадеживающими, и с этими выводами нельзя не согласиться.

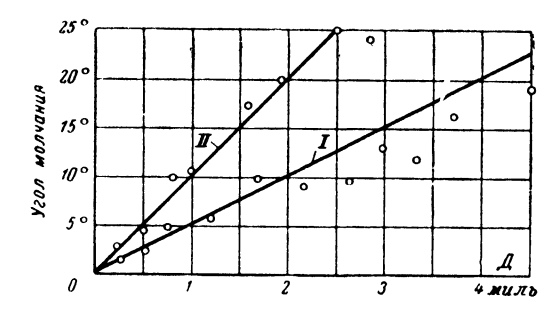


Рис. 52. Результаты измерения дальности обнаружения передатчика с помощью слухового пеленгатора.

Им удалось с помощью маломощного передатчика благодаря применению ферритовых антенн добиться надежного обнаружения объектов в неблагоприятных условиях на расстоянии свыше десяти километров. Особенно следует отметить тот факт, что излучаемая мощность составляла всего несколько микроватт.

11. Особенности расчета и конструирования передающих ферритовых антенн

В основе расчета передающей ферритовой антенны лежат соображения обеспечения необходимой мощности излучения. Последняя определяется произведением квадрата тока антенны $I_{\text{а}}^2$ и сопротивлением излучения R_{Σ}.

Величина тока в антенне зависит от мощности источников питания и конструкции выходного усилителя. В приведенном выше примере соотношение между мощностью источников питания и излучаемой мощностью составило величину 10^5.

Решающим фактором в деле повышения эффективности ферритовой передающей антенны является увеличение сопротивления излучения как по абсолютной величине, так и относительно сопротивления потерь. Методы, применяемые для повышения эффективности ферритовой передающей антенны, в основном совпадают с аналогичными методами в приемных антеннах, с той лишь разницей, что несколько ослабляются требования к весу и габаритам.

Увеличению к. п. д. передатчика в целом способствует увеличение мощности выходного каскада, так как известно, что более мощные выходные усилители обладают более высоким к. п. д. Однако на

пути увеличения мощности выходного каскада и колебательной мощности в антенне встает существенное препятствие в виде ограничения величины тока $I_а$. Дело в том, что большие токи в антенной катушке приводят к возникновению искажений передаваемого сигнала.

Появление искажений является проявлением присущей ферритам (как, впрочем, и другим магнитным материалам) нелинейной зависимости между индукцией B и напряженностью магнитного поля H, которая находит свое выражение в петле гистерезиса. Нелинейность, вызванная гистерезисом, приводит к искажению формы излучаемого сигнала (причем тем большему, чем больше амплитуда тока в обмотке антенны), так называемым нелинейным искажениям. Помимо нелинейных искажений, особенности намагничивания ферритов приводят к зависимости средней магнитной проницаемости сердечника за цикл и потерь на гистерезис при изменении амплитуды тока. Феноменологически эти явления легко себе представить, если воспроизвести частные циклы петли гистерезиса при различных амплитудах намагничивающего поля.

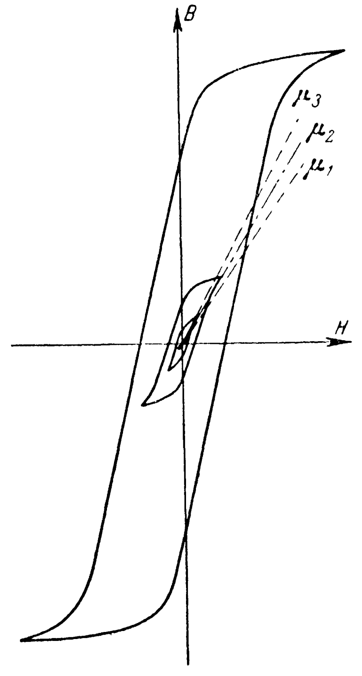


Рис. 53. Наклон петли гистерезиса в зависимости от амплитуды поля H: ($H_1<H_2<H_3$) и проницаемости $\mu_1<\mu_2<\mu_3$.

Как видно из рис. 53, среднее значение магнитной проницаемости за цикл (так же, как и площадь петли) зависит от H. Среднее значение магнитной проницаемости за цикл носит название *эффективной магнитной проницаемости* μ_e.

В количественном отношении это проявляется в так называемой μ-H-кривой — зависимости магнитной проницаемости от напряженности поля (рис. 54). Значения μ с ростом напряженности поля растут, начиная с некоторого значения $\mu_н$ начальной магнитной проницаемости вплоть до максимального значения $\mu_{макс}$, и затем начинают плавно падать.

В соответствии с поведением μ-H-кривой условия работы ферритовых сердечников могут быть разбиты на три области: область очень слабых полей, где проницаемость сердечника может считаться постоянной; область слабых полей, где проницаемость растет линейно, и область средних и сильных полей, где зависимость $\mu=f(H)$ очень быстро изменяется и не поддается аналитическому учету.

Границы этих областей отчетливо видны на кривых, показывающих изменение магнитной проницаемости в зависимости от амплитуды переменного намагничивающего поля (рис. 55).

Границы областей и их протяжённость для ферритов различных марок неодинаковы. Для высокопроницаемых ферритов они сдвигаются в область малых значений *H*. Чем меньше начальная проницаемость феррита, тем меньше проявляется нелинейность. Марганеццинковые ферриты также меньше подвержены нелинейным искажениям.

Изменение μ_e в зависимости от *H* приводит к расстройке выходного контура при изменении тока *I*. Особенно заметно влияние нелинейности при амплитудной модуляции, когда пики сигнала чередуются с относительно малыми уровнями. Несколько более благоприятным является применение частотной модуляции.

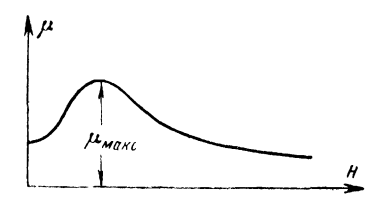


Рис. 54. μ-*H*-кривая феррита.

Сердечники ферритовых передающих антенн должны выбираться, исходя из соображений минимальной возможной расстройки контура при модуляции, а также допустимого уровня нелинейных искажений. При выборе материала сердечника прежде всего необходимо учитывать коэффициент амплитудной нестабильности $\alpha_н$ — относительный коэффициент приращения начальной магнитной проницаемости с ростом *H*.

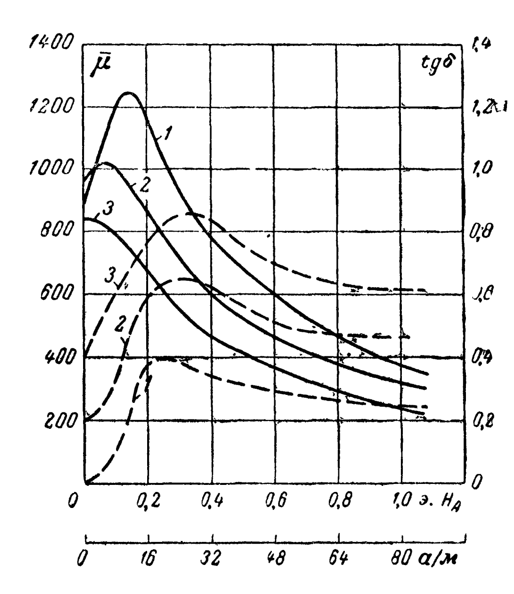


Рис. 55. Зависимости эффективной проницаемости феррита с $\mu_н = 9\,000$ от амплитуды намагничивающего поля *H* при частоте $f = 10$ *кгц* (кривая *1*); $f = 100$ *кгц* (*2*); $f = 200$ *кгц* (*3*).

Для слабых полей $\alpha_н$ величина постоянная, и магнитная проницаемость для данного намагничивающего поля определяется формулой

$$\mu_e = \mu_н (1 + \alpha_н H).$$

В численном выражении $\alpha_н$ занимает большой диапазон значений в зависимости от материала. для феррита 2000 НН $\alpha_н=9{,}0$; для феррита 2000 НМ $\alpha_н=1{,}6$; для феррита 1000 НН $\alpha_н=4{,}5$ и для феррита 1000 НМ $\alpha_н=0{,}25$.

Расчет сердечника антенны можно провести в соответствии со средним значением коэффициента нелинейных искажений при условии, что сигнал передатчика в процессе модуляции не выйдет за пределы полосы пропускания выходного контура $2\Delta f$ (или какой-либо части ее).

В этом случае исходным для расчета становится неравенство

$$\Delta f \geqslant f_{макс} - f_0,$$

где $f_{макс}$ — собственная частота антенного контура при пике модуляции;

f_0 — частота передатчика (на которую настроен контур ферритовой антенны в режиме несущей).

Произведя несложные преобразования, можно указанное неравенство привести к виду

$$\frac{1}{Q_а} \geqslant \frac{\Delta L}{L},$$

где ΔL — уход индуктивности ферритовой антенны вследствие амплитудной нестабильности;

$Q_а$ — добротность антенны.

Но отношение $\Delta L/L$ определяется отношением действующих магнитных проницаемостей в обоих случаях, т. е.

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\mu_{eмакс} - \mu_{e0}}{\mu_{e0}},$$

или, учитывая вышеприведенную зависимость μ_e от H,

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha_н \Delta H,$$

где ΔH — изменение напряженности магнитного поля сердечника ферритовой антенны.

Таким образом, расчет ферритовой передающей антенны требует определения напряженности магнитного поля в сердечнике или, точнее выражаясь, допустимого изменения величины напряженности.

К такому же выводу можно прийти, если вести расчет антенны исходя из допустимого значения *коэффициента нелинейных искажений* или клирфактора.

Клирфактор определяется

$$k_{ф.а} = \sqrt{\frac{B_2^2 + B_3^2 + \ldots + (B_n)^2}{B_1^2}},$$

где B_1, B_2, B_3 — эффективные значения индукции 1, 2, 3-й и т. д. гармоник.

Для ферритового сердечника, использующегося в слабых полях, основное значение имеет третья гармоника, и поэтому

$$k_{ф.а} \cong k_3 = \sqrt{\frac{\overline{B_3^2}}{B_1^2}}.$$

Отсюда, как показывает Л. И. Рабкин («Высокочастотные ферромагнетики», Физматгиз, 1960), величина нелинейных искажений определится формулой

$$k_{ф.а} \cong 0{,}25 a_н H_{макс},$$

где $H_{макс}$ — максимальная амплитуда напряженности поля в сердечнике.

Расчет напряженности поля в сердечнике ферритовой антенны значительно сложнее, чем в замкнутом магнитопроводе, где она определяется широко известной формулой

$$H_c = \frac{wI}{l_м} \ [а/м],$$

где l — длина магнитопровода (замкнутого сердечника).

В сердечнике антенны, представляющем собой разомкнутую магнитную цепь, против поля H_c действует дополнительное размагничивающее поле (см. § 3), что приводит к уменьшению результирующего поля. Результирующее поле в разомкнутом сердечнике определяется через значение поля в замкнутом магнитопроводе как

$$H_p = H_c \frac{4\pi}{4\pi + N(\mu_e - 1)}.$$

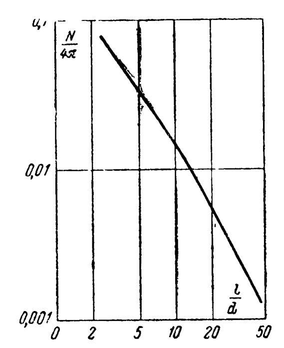


Рис. 56. Значения размагничивающего фактора как функции отношения l/d.

Естественно, что длина сердечника антенны и замкнутого магнитопровода, так же как и значения тока I, а также число витков катушек, должны быть равными.

Необходимые для расчета ферритовых передающих антенн значения размагничивающего фактора N приведены на рис. 56.

При относительно близких значениях начальной проницаемости марганеццинковые ферриты имеют существенно меньшие значения коэффициента амплитудной нестабильности и, следовательно, более предпочтительны для использования в качестве сердечников передающих антенн.

Следующей особенностью расчета передающей ферритовой антенны является необходимость учета возникающего при ее работе нагрева сердечника. Мощность, выделяющаяся в сердечнике антенны в виде тепла, идущего на разогрев сердечника, может быть подсчитана по формуле

$$P = \pi H_p^2 \frac{\operatorname{tg} \delta}{\mu_0} fV \ [вт],$$

где V — объем сердечника.

Далее, зная удельную теплоемкость феррита (0,17 *кал/г·град*) и его теплопроводность (около 0,01 *кал/ом·сек·град*), нетрудно рассчитать возможный разогрев сердечника.

Для ориентировочных расчетов можно воспользоваться следующими данными: удельная мощность потерь, выделяемая за цикл в сердечнике объемом 1 $м^3$ при $H_p = 8$ *а/м*, составляет для материала 2000 НН 0,19 *вт*, для материала 2000 НМ — 0,034 *вт*, для 1000 НН — 0,048 *вт* и для 1000 НМ — 0,003 *вт*.

Для конструирования передатчиков, работающих с ферритовыми антеннами, необходимо учесть ряд специфических особенностей, вытекающих из использования магнитной антенны. Дело в том, что передающая антенна создает интенсивное поле индукции, обусловленной большой реактивной мощностью. Так, в одноваттном передатчике реактивная мощность достигает 100 *вт*. Поле индукции создает мощные наводки как в предыдущих каскадах, так и в задающем генераторе. Поэтому при конструировании передатчика должны широко использоваться эффективные развязывающие и нейтрализующие цепи. Обязательным являются также применение буферных каскадов.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

12. Методы измерения и аппаратура

В процессе конструирования ферритовой антенны часто возникает необходимость проверки (измерения) ее параметров (индуктивности антенной катушки, добротности, действующей высоты). Вызывается это не только несовершенством методов расчета, но и непостоянством характеристик феррита (естественным его старением или воздействием факторов, изменяющих свойства феррита, о которых говорилось выше). Достаточно сказать, что разброс по магнитной проницаемости ферритовых сердечников одной и той же марки может достигать 20%. Особенно необходимы измерения при экспериментальной работе по увеличению эффективности антенны, когда результаты эксперимента показывают, насколько полезно то или иное изменение ее конструкции.

Измерение индуктивности антенной катушки можно вести на обычных мостовых приборах. Наиболее часто употребляются так называемые низкочастотные мосты, например универсальный мост Е-12-2 (УМ-3), который имеет широкие пределы измерений, довольно высокую точность, сравнительно прост и надежен в эксплуатации.

При помощи моста Е-12-2 можно измерять индуктивности от 10 *мкгн* до 100 *гн*, точность измерений составляет 1—3%. Следует помнить, что по показаниям низкочастотных мостовых приборов трудно судить о потерях в измеряемой антенне. Высокочастотные мосты из-за значительных погрешностей, обусловленных связями между плечами моста и различного рода нестабильностями, не нашли широкого применения.

Наиболее употребительными измерительными приборами при конструировании ферритовой антенны являются коротковолновые и ультракоротковолновые куметры. Кроме измерения добротности антенного контура на рабочей частоте ими можно измерять индук-

тивность антенной катушки, собственную емкость катушки, коэффициент взаимной индукции и коэффициент связи между двумя антенными катушками.

В качестве примера можно привести куметр Е9-4. Пределы измерений добротности этим прибором составляют от 5 до 600 ед. Они перекрываются тремя шкалами выходного вольтметра (на 60, 200, 600). Диапазон частот генератора — 50 *кгц* — 35 *Мгц*.

Для измерения параметров на более высоких частотах используется измеритель добротности Е9-5. Он работает в диапазоне частот от 15 до 250 *Мгц*. Пределы измерений добротности от 5 до 1 200. Погрешность измерений величин Q во всех измерителях добротности составляет 4—5%. Следует помнить, что добротность определяется на частоте ниже собственной частоты измеряемого контура, так как параллельно конденсатору последнего включается входная емкость измерительного прибора.

Для определения собственной частоты антенного контура (что необходимо, в частности, при изготовлении ферритовой телевизионной антенны) к зажимам «Индуктивность» ультракоротковолнового куметра подключается небольшой (диаметром 4—5 *см*) виток, и с помощью конденсатора куметр настраивается на частоту, близкую к измеряемой. Затем к витку подносится измеряемая ферритовая антенна (точнее антенный контур) на расстояние 3—4 *см*. Если при этом частота настройки на куметре изменяется, то собственная частота антенного контура не совпадает с частотой куметра. При совпадении же частот настройка контура куметра остается неизменной (при этом несколько снижается добротность контура).

С помощью куметра можно также выяснить ориентировочно марку неизвестного ферритового стержня. Для этого нужно определить его частотную границу, т. е. ту частоту настройки, за которой следует ухудшение добротности до величины, равной примерно 10. По этой частоте, пользуясь табл. 1, можно узнать затем марку неизвестного феррита. При подобных измерениях следует помнить, что добротность антенной катушки зависит от числа ее витков и, следовательно, катушка должна иметь число витков, соответствующее данному частотному диапазону (см. табл. 5).

Более точно магнитная проницаемость исследуемого стержня может быть определена, если воспользоваться следующей методикой: определив индуктивность и зная число витков и размеры катушки, найти последовательно сначала $\mu_к$, а затем $\mu_с$. Тангенс угла потерь на высоких частотах можно рассчитать по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{Q_x} - \frac{r_{а.к}}{\omega L_x},$$

где Q_x, L_x величина добротности и индуктивность антенной катушки, измеряемая на приборах типа Е9-4 или Е9-5; $r_{а\ к}$ — сопротивление обмотки (в последовательной схеме).

Следует отметить, что ошибка в определении $\operatorname{tg}\delta$ как функции частоты по данным измерений добротности весьма значительна, что объясняется недостаточной точностью измерения Q_x и зависимостью Q_x от величины тока, проходящего через образец. В ряде измерений важным параметром является собственная емкость антенного контура C_L. От отношения собственной емкости катушки ко всей емкости контура зависит действующее значение индуктивности антенного контура и сопротивление потерь в нем. Собственная

емкость ферритовой антенны определяется таким же способом, как и собственная емкость обычных катушек, т. е. методом экстраполяции, совмещенным с резонансным методом.

Сущность метода состоит в определении графика функции f — частоты настройки куметра в зависимости от изменения емкости его конденсатора. Частота настройки куметра выражается в неявном виде

$$\frac{1}{f^2} = 4\pi^2 L (C_{обр} + C_L).$$

График строится по данным $C_{обр}$ и f, получаемым при настройке антенного контура на три частоты с помощью образцового конденсатора переменной емкости $C_{обр}$. Значение собственной емкости антенной катушки определяется по отрезку, заключенному между точкой пересечения прямой и началом координат. Из этого же графика определяется собственная резонансная частота антенной катушки по значению ординаты в точке (y, 0) пересечения оси ординат построенной функции.

Иногда при изготовлении ферритовых антенн, особенно в ультракоротковолновом диапазоне, следует проверить, насколько далеко рабочая частота сконструированной антенны находится от частоты собственного резонанса. Приближение частоты к резонансной можно легко обнаружить с помощью куметра, определив индуктивность антенны на нескольких частотах. Если индуктивность исследуемой антенны начинает быстро увеличиваться при увеличении частоты, то значит, частота антенны приближается к резонансной и число витков надо уменьшить.

С помощью куметра можно определить величину связи между параллельными или последовательными антеннами, используя способ двукратного измерения индуктивности последовательно включенных катушек при разных направлениях намотки.

13. Измерения в стандартном поле

Рассмотренные выше измерения не дают прямого ответа на вопрос, насколько эффективна сконструированная антенна. Такой ответ может быть получен при условии, что известны напряженность поля в месте приема и напряжение на выходе антенны или на выходе приемника, усиление которого известно. Знание этих величин позволяет более или менее точно определить действующую высоту антенны.

Измерения напряженности поля требуют довольно сложной аппаратуры и, кроме того, не всегда возможны из-за помех. Между тем возможно создать искусственным образом условия для быстрого и прямого измерения действующей высоты ферритовой антенны. Такую возможность дает макет стандартного поля (поля Гельмгольца), в котором с помощью простых измерительных приборов (например, теплового миллиамперметра) можно измерить уровень поля. Получаемое в макете поле однородно, и кроме того, напряженность его может быть достаточно большой, позволяющей измерять действующую высоту антенны с помощью обычного микроамперметра.

Общий вид макета стандартного поля приводится на рис. 57. Источником поля служит рамочная антенна в виде двух параллельно расположенных витков *1*, подсоединенных к высокочастотному

генератору с симметричным выходом *2*. Антенна *3* размещается на подставке *4*, там же укреплен прибор индикатора *5*.

Напряженность электрического поля связана с током в витках следующей зависимостью:

$$E = 86\pi \frac{I}{R},$$

где I — суммарный ток, питающий оба витка, *а*, R — радиус витка, *м*.

При радиусе витков $R = 27{,}5$ *см* и токе $I = 1{,}02$ *ма* напряженность поля $E = 1$ *в/м*. Для получения наибольшей однородности поля расстояние между витками следует брать равным 25—30 *см*. Витки могут быть выполнены из латунной трубки.

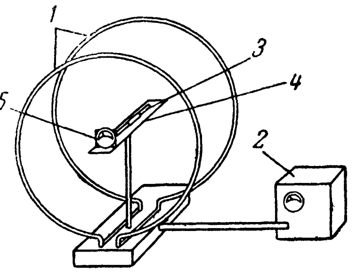


Рис. 57. Макет стандартного поля.

Более удобна с конструктивной точки зрения схема прибора, в которой источником поля служат апериодические экранированные рамки. Экранирование рамки позволяет питать ее от несимметричного генератора, не опасаясь влияния оператора и близлежащих предметов на результаты измерений. Они дают возможность контролировать нагрузку на генератор и удобны при производстве измерений, поскольку в этом случае ток, питающий рамку, постоянен в широком диапазоне частот.

Экранированную апериодическую рамку можно изготовить из радиочастотного кабеля (рис. 58). Для этого берут кусок кабеля *1* типа РК-1, несколько превышающий периметр $2\pi R$ рамки, и один из его концов на 3—4 *см* от края очищают от защитного покрытия. Затем броневую оплетку кабеля *2*, состоящую из медных жил, расплетают на два пучка, а внутренний провод очищают от изоляции *3* и облуживают. На расстоянии, равном периметру рамки, броневую оплетку вновь очищают от покрытия и облуживают. После этого к внутреннему проводу очищенного конца кабеля *4* надо припаять малогабаритный резистор в 75 *ом* (*5*). Другой конец резистора припаивают к облуженному участку кабеля. Сюда же, охватывая припаянный резистор и броневую оплетку, припаивают оба пучка расплетенной броневой оплетки конца кабеля. Место соединения обматывается изоляционной лентой. Далее на середине спаянного в рамку кабеля удаляют покрытие и броневую

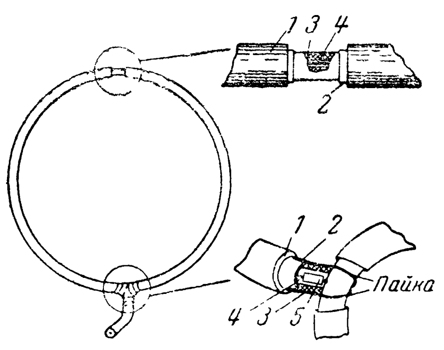


Рис. 58. Конструкция экранированной рамки макета стандартного поля.

оплетку на расстоянии 1 *см* (изоляция остается для сохранения механической прочности).

Обе изготовленные таким образом рамки соединяются параллельно и располагаются на расстоянии, равном радиусу рамок. Для большей устойчивости целесообразно рамки разместить на жестких основаниях из изоляционного материала (гетинаксовых или фанерных). Радиус их следует выбирать исходя из рабочего диапазона антенны (27,5 *см* для диапазона длинных и средних волн и не более 20 *см* для ультракоротковолнового диапазона).

Мощность генератора, необходимая для создания поля напряженностью порядка 1 *в/м*, не превышает 0,2 *вт*. Эффективность ферритовой антенны может быть измерена простейшим индикатором, состоящим из детектора и микроамперметра постоянного тока (рис. 60,*а*). Ферритовая антенна, помещенная в стандартное поле, настраивается подстроечным конденсатором. Величина нагрузки детектора подбирается равной или несколько превосходящей входное сопротивление приемника. Схема детектора настолько проста, что может быть собрана непосредственно на зажимах микроамперметра. Для удобства измерений действующей высоты микроамперметр может быть смонтирован на одном из оснований, к которому прикрепляются рамки.

Прежде чем приступить к непосредственным измерениям, следует убедиться (измерив ток, питающий рамку, и рассчитав напряженность поля), что величина поля достаточна для проведения измерений. Если производится измерение действующей высоты (без настройки антенны), то напряженность поля должна быть не ниже 20 *в/м*. При таких измерениях нагрузкой детектора служит сопротивление микроамперметра типа М-494 или М-24.

Чтобы облегчить работу, нужно предварительно вычертить детекторную характеристику индикатора. Для этого на выход антенны (зажимы *1* и *2* на рис. 59) подключают достаточно чувствительный ламповый вольтметр (типа ВЛУ или ВКС-7) и определяют затем зависимость тока микроамперметра от напряжения, развиваемого антенной. После этого приступают к непосредственным измерениям действующей высоты. Антенну располагают в середине между рамками на подставке из изолированного материала (органическое стекло, гетинакс) так, чтобы ось стержня совпадала с осью, проходящей через центр рамок.

Для настройки ферритовой антенны на различные частоты используется воздушный конденсатор (ротор его должен легко вращаться), емкость которого должна изменяться в тех же пределах, что и емкость конденсатора, используемого в приемнике. В этом случае сопротивление нагрузки выбирается порядка 100—150 *ком*, а микроамперметр подсоединяется к части нагрузки, сопротивление которой в 3—4 раза меньше сопротивления микроамперметра.

На рис. 59,*в* показаны типовые характеристики индикатора для измерений в ультракоротковолновом диапазоне с диодом, включенным по параллельной схеме (*1*) и по последовательной (*2*). В индикаторе используются диод типа Д9Г, сопротивления нагрузки $R_н$ по 40 *ком*, блокировочный конденсатор $C_{раз}$ емкостью 28 *пф* и микроамперметр М-494. Детекторная характеристика должна сниматься при настроенном антенном контуре.

Индикатор, схема которого дана на рис. 59,*а*, может быть использован при условии, что антенный контур пропускает постоян-

ную составляющую тока. В противном случае, например при емкостной схеме включения антенны, следует применить индикатор, собранный по параллельной схеме (рис. 59,*б*).

При измерениях параметров ферритовых антенн в стандартном поле следует учесть возможное влияние самих рамок на результаты измерений. Влияние рамок проявляется во внесении некоторого дополнительного (в общем виде комплексного) сопротивления во входное сопротивление магнитоприемника, что приводит к кажущемуся увеличению сопротивления потерь измеряемой антенны, а также изменению резонансной частоты. Влияние это тем больше, чем больше диаметры рамок стандартного поля и сердечника ферритовой антенны, а также чем ближе расположены рамки к измеряемой антенне.

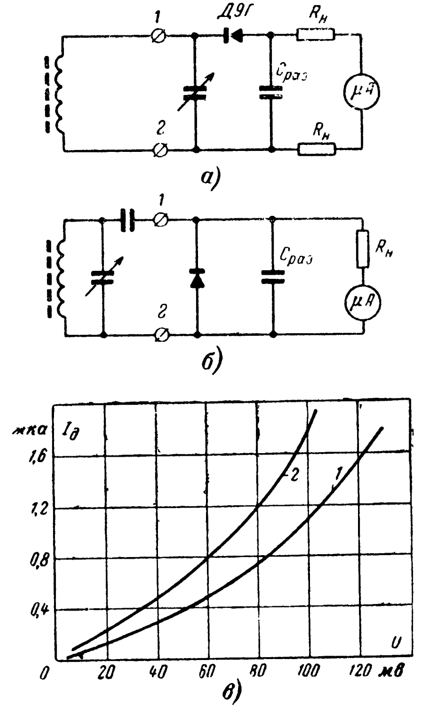


Рис. 59. Индикатор антенны.

а — последовательная схема; *б* — параллельная схема; *в* — характеристики индикатора.

Учет взаимного активного сопротивления рамок и ферритовой антенны производиться путем сравнения результатов измерений в стандартном поле и на куметре и введением соответствующих поправок. Так, например, практика измерений УКВ ферритовых антенн (диапазон 30—60 *Мгц*) показывает, что добротность их снижается при величинах Q=100—150 на 20%, а при более низких добротностях на 5—10%.

Измерения ферритовых антенн в стандартном поле лучше всего проводить в нагруженном состоянии, когда истинная добротность настроенной антенны понижена из-за включения согласованной нагрузки. При малых значениях добротности ($Q \leqslant 50$) влиянием рамок можно пренебречь. При необходимости проведения измерений высокодобротных антенн для уменьшения влияния макета на результаты измерений необходимо увеличить вдвое расстояние между рамками, введя необходимые коррективы при определении расчетной напряженности поля.

Приводим несколько советов, полезных при проведении измерений на стенде.

Грубую настройку антенны следует производить конденсатором, а точную — изменением частоты генератора, добиваясь максимального отклонения стрелки микроамперметра.

В пространстве между рамками не должно быть металлических деталей, способных исказить поле. Оператор при измерениях должен находиться на расстоянии не меньше полуметра от стенда. В поле его зрения должны быть и миллиамперметр, измеряющий ток рамки, и микроамперметр индикатора. Уровень поля следует поддерживать по возможности постоянным.

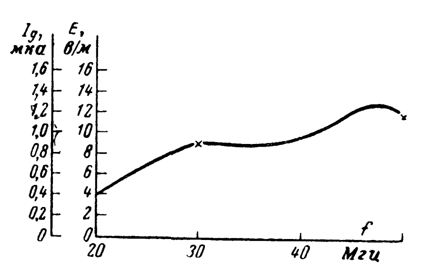


Рис. 60. Частотная характеристика макета стандартного поля.

Помимо прямых измерений действующей высоты и эффективности ферритовых антенн, на стенде можно производить и измерение добротности антенного контура в сборе (иногда вместе с лампой или транзистором). Для этого после точной настройки определяется полоса пропускания контура; она находится как разность между частотами генератора, при которых напряжение на контуре падает до уровня, равного 0,7 от максимального. После этого добротность контура определяется по следующей формуле:

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f},$$

где f_0 — частота точной настройки антенны, *кгц*;
$2\Delta f$ — полоса пропускания контура, *кгц*.

При измерениях ферритовых антенн, предназначенных для работы в широком диапазоне частот, необходимо учесть частотную характеристику макета стандартного поля. Она измеряется предварительно с помощью ненастроенной воздушной рамки в необходимом интервале частот. Примерная частотная характеристика макета, предназначенного для работы в диапазоне 20—50 *Мгц*, приведена на рис. 60.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ АНТЕННЫХ ЦЕПЕЙ С ФЕРРИТАМИ

14. Антенные трансформаторы

Назначением антенных трансформаторов являются сопряжение элементов антенной цепи и обеспечение перехода от симметричных антенн к несимметричному входу приемника.

Особые трудности возникают при изготовлении трансформаторов на частоты коротковолнового и ультракоротковолнового диапазонов, где паразитные емкости частей обмотки нарушают симметрию антенны, что вызывает появление антенного эффекта, неопределенности нуля диаграммы и др.

Воздушный трансформатор без сердечника из-за большой индуктивности рассеяния перекрывает весьма малый частотный диапазон.

Лучше в этом отношении антенный трансформатор с обмотками на ферритовом кольце, еще лучше трансформатор с индуктивным шлейфом (рис. 61). Последнему свойственна высокая симметрия, так как емкостная связь между его обмотками сведена до минимума.

Как видно из схемы трансформатора с индуктивным шлейфом (рис. 61,*б*), связь между его первичной и вторичной обмотками, расположенными на кольцевых сердечниках из феррита с высокой магнитной проницаемостью (на рис. 61,*а* они обозначены цифрой *1*), осуществляется при помощи объемного витка (индуктивного шлейфа), образованного корпусом (экраном) трансформатора *2* и центральным стержнем — болтом *3*, стягивающим всю конструкцию. Для уменьшения емкостной связи между обмотками обоих сердечников в трансформаторе имеется электростатический экран *4* (диск с отверстием, диаметр которого на 0,5—1 *мм* больше диаметра стяжного болта). Экспериментальное исследование различных конструкций показало, что конструкция с индуктивным шлейфом позволяет значительно улучшить параметры антенного трансформатора в широком диапазоне частот.

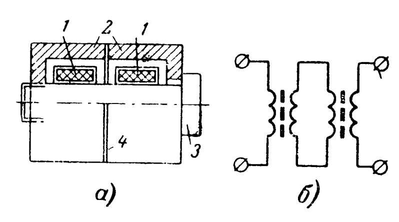


Рис. 61. Трансформатор с индуктивным шлейфом.

а — конструкция: *1* — ферритовые торы, *2* — корпус, *3* — стяжной болт, *4* — разделительная шайба; *б* — схема трансформатора.

Применение ферритовых кольцевых сердечников с большой проницаемостью, особый способ намотки (пучком параллельных проводов, закрывающих бо́льшую часть поверхности колец) и сильная связь между обмотками и объемным витком (достигается особой конструкцией витка-экрана, в основу которой заложено стремление приблизить экран к обмотке) уменьшают рассеяние в трансформаторе с индуктивным шлейфом.

Решающим фактором, обеспечивающим расширение диапазона рабочих частот антенного трансформатора, оказывается правильный выбор магнитного материала сердечника. Работа на участке магнитной характеристики выше граничной частоты, где магнитная проницаемость материала начинает постепенно уменьшаться, оставаясь достаточно большой при увеличении частоты, позволяет расширить рабочий диапазон частот трансформатора, так как в этой области благодаря схеме трансформатора рост потерь относительно мало сказывается на коэффициенте передачи.

Успешное применение высокопроницаемых ферритов в трансформаторе заставляет по-новому взглянуть на свойства ферритов в области высоких частот при выборе ферритового сердечника для антенного трансформатора. Его проницаемость должна быть на порядок выше, чем в катушках индуктивности данного диапазона частот. В частности, хорошие результаты в диапазоне частот 30—70 *Мгц* дает трансформатор на кольцах из феррита 600НН с внешним диаметром 11 *мм* и внутренним 6 *мм* при ширине кольца 5 *мм*. Число витков обмоток трансформатора в зависимости от диапазона частот и назначения трансфоратора — от 10 до 20. Корпус внешним диаметром 15 *мм* и внутренним 12 *мм* изготовляют из латуни и покрывают серебром. Диаметр стяжного болта 5 *мм*.

Коэффициент трансформации описанного трансформатора сохраняет расчетное значение с точностью не хуже 5% во всем диапазоне частот. Следует заметить, что трансформаторы со шлейфом описанной конструкции должны использоваться при условии, что сопротивления на входе и выходе не превышают единиц килоом. В противном случае их показатели резко ухудшаются.

Интересны трансформаторы на ферритах, представляющие собой сочетание длинной линии и идеального трансформатора (трансформаторы Рутрофа). Принцип действия такого трансформатора поясняется на рис. 62. Его обмотки, образующие длинную линию, намо-

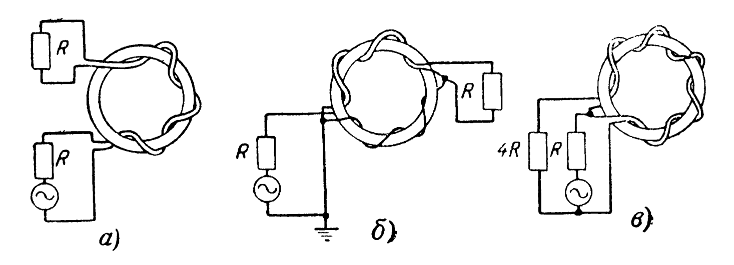


Рис. 62. Трансформаторы Рутрофа.

таны бифилярно, что обеспечивает коэффициент передачи, близкой к единице в широком диапазоне частот (от 100 *кгц* до сотен мегагерц). Фаза колебания, поданного на вход трансформатора, может быть повернута на 180° путем выбора точки заземления на выходе. Достоинством такого трансформатора является также независимость его параметров от тока подмагничивания и нестабильности ферритов.

В таких трансформаторах обычно применяют ферритовые сердечники с высокой начальной проницаемостью.

Рассмотренные трансформаторы просты в изготовлении и имеют малые размеры. Так, например, симметрирующий трансформатор для диапазона частот 20—100 *Мгц* (рис. 62,*а*) изготовляют на кольцах внешним диаметром 12,5 *мм* из феррита марки 600 НН или 400 НН. Он состоит из 3—4 витков бифилярной обмотки и такого же количества витков дополнительной обмотки из литцендрата 7×0,1. Расстояние между проводами бифилярной обмотки берется минимальным и строго выдерживается по всей длине обмотки. Подобный трансформатор обеспечивает коэффициент симметрии[1] от 100 до 15—20 при условии равенства входного и выходного сопротивлений. Для трансформации сопротивлений в 4 раза применяется схема, изображенная на рис. 62,*в*.

Хорошие результаты дает трансформатор, показанный на рис. 62,*б*. Он состоит из пяти витков бифилярной обмотки, аналогичной обмотке вышеописанного трансформатора. Применяя в этом трансформаторе кольцевые сердечники из феррита 600 НН или 1000 НН внешним диаметром 7—10 *мм*, удается получить постоянство трансформации сопротивлений (и напряжений) в диапазоне частот 1—50 *Мгц*.

---

[1] Коэффициентом симметрии называется отношение напряжений на выходе трансформатора при симметричном и несимметричном включениях одной из обмоток.

Основным условием правильного изготовления трансформаторов Рутрофа является соблюдение равенства волнового сопротивления длинной линии, образованной бифилярной намоткой, и нагрузочного сопротивления трансформатора.

Как показывают результаты измерений, волновое сопротивление линии из двух проводов литцендрата 7×0,1 в шелковой оплетке, прилегающих друг к другу и расположенных на сердечнике из феррита с магнитной проницаемостью 600, составляет 100—125 *ом*. Соответственно и величина нагрузки не должна превышать указанной величины. Отклонение сопротивления нагрузки от величины, равной волновому сопротивлению линии, ведет к резкому ухудшению свойств трансформатора — уменьшению коэффициента передачи и частотной неравномерности.

15. Симметрирующие устройства

В диапазоне УКВ и, в частности, при приеме телевизионных каналов наиболее распространены симметричные антенны (горизонтальный вибратор и его модификации). Вход телевизоров обычно несимметричен, и для связи антенны с телевизором используют в большинстве случаев несимметричный коаксиальный кабель. При прямом соединении симметричной антенны с несимметричным входом телевизора таким кабелем возникают потери энергии, ослабляется чувствительность установки и создаются многократные отражения. Для избавления от подобных явлений применяется простейшее симметрирующее устройство типа *U*-колена, а также так называемый «запирающий стакан», не имеющий ряда конструктивных недостатков *U*-колена. Однако оба эти устройства являются узкодиапазонными.

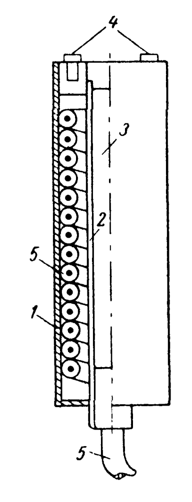


Рис. 63. Симметрирующее устройство КВ диапазона с ферритовым сердечником.

Применяя ферриты, можно изготовить более компактное симметрирующее устройство с достаточно простой перестройкой в широком диапазоне частот. На рис. 63 показано такое устройство в разрезе. Как видно из рисунка, соединительный кабель в стакане уложен спирально. Этим достигается значительное «укорачивание» размеров устройства. В устройстве без феррита спираль *5* из кабеля РК-1 имеет 13 витков, внешний диаметр ее равен внутреннему диаметру стакана *1* (40 *мм*), выполненного из дюралюминиевой трубы (высота стакана 250 *мм*).

На верхнюю крышку устройства, изготовленную из высокочастотного диэлектрика (полистирола или органического стекла), выводятся к соответствующим зажимам *4* жила и оболочка кабеля. К этим же зажимам присоединяются и выводы вибратора антенны. Нижняя латунная крышка плотно соединена со стаканом. Если уменьшить внешний диаметр спирали до 25 *мм* и увеличить число витков до 20, то симметрирующее устройство можно настроить на частоту 75 *Мгц*.

Более совершенно и удобно в эксплуатации симметрирующее устройство, в котором используется ферритовый сердечник 3 для перестройки, введенный внутрь спирали. Перемещая сердечник с помощью простейшего механизма, можно изменять частоту настройки устройства без изменения размеров спирали. Внутрь спирали вводится также направляющая втулка 2, облегчающая перемещение ферритового сердечника. В этом устройстве использован сердечник из феррита 600 НН диаметром 8 и длиной 200 *мм*. Введение стержня позволило плавно изменять частоту настройки симметрирующего устройства от 42 до 65 *Мгц*.

Принцип действия симметрирующего устройства с ферритовым сердечником становится ясным из следующего. Отрицательное влияние несимметричного фидера возникает вследствие двух причин: подсоединения к выходу антенны некоторого шунтирующего сопротивления Z, изменяющегося в диапазоне частот, а также возникновения на внешней поверхности оплетки кабеля токов вследствие действия электромагнитного поля. Симметрирующее устройство представляет собой двухполюсник, включаемый на пути токов кабеля и препятствующий шунтированию антенны. Так, запирающий стакан является короткозамкнутым отрезком длинной линии, сопротивление которой на определенной частоте очень велико и как бы «отсекает» кабельные токи. Частота, на которой происходит симметрирование, определяется длиной стакана или, иначе говоря, его собственной длиной волны. Собственная длина волны этого симметрирующего устройства равна $4l_U$, где l_U — длина стакана. Введение ферритового сердечника позволяет в 4—5 раз уменьшить длину запирающего стакана.

К недостаткам рассмотренного выше устройства относятся недостаточная ширина полосы симметрирования, а также очевидная непригодность его использования на более низких частотах, в частности в диапазоне коротких волн.

Между тем в ряде антенных устройств КВ диапазона представляется необходимым подавление токов, наводимых на внешней стороне оплетки коаксиального кабеля. Наличие этих токов искажает диаграмму направленности антенны, ухудшает согласование антенны с кабелем и т. д. Все эти побочные вредные влияния неизбежно имеют место при работе на вынесенную антенну.

Задача подавления вредных кабельных токов может быть достаточно просто решена с помощью использования ферритов. Действительно, одевая на фидер ферритовое кольцо, мы тем самым резко увеличиваем индуктивность и в зависимости от частотных свойств феррита магнитные потери близлежащего участка фидера.

При правильном выборе материала колец эти участки фидера с повышенным активным и реактивным сопротивлением способны резко понизить величину кабельных токов. В табл. 7 показаны измеренные высокочастотным мостом значения сопротивления участка фидера РК-3 длиной 5 *см* при одевании на него ферритовых колец. Как видно из таблицы, сопротивления отдельных участков кабеля складываются, что облегчает задачу подавления паразитных токов. В этих измерениях использовались в основном ферритовые кольца марки 1000 НН с размерами 38×24×7 на частотах КВ диапазона, а также кольца из материала 2000 НН с размерами 31×18×7.

Эта же идея подавления токов, текущих по оплетке кабеля, лежит в основе так называемых кабельных дросселей, используемых при измерении характеристик небольших электрических антенн в ка-

Таблица 7

f, Мгц	R, ом	X, ом	Примечание
2	19,6	24	2 кольца 38×24×7 1000 НН
2	40	45,5	4 кольца 38×24×7 1000 НН
2	58	69	6 колец 38×24×7 1000 НН
4	107	14,6	6 колец 38×24×7 1000 НН
8	75,5	—19,6	6 колец 38×24×7 1000 НН
16	61,5	—20	6 колец 38×24×7 1000 НН
4	9,02	10,5	1 кольцо 31×18×7 700 НМ
4	54,3	52,3	6 колец 31×18×7 700 НМ
8	115,5	46,2	6 колец 31×18×7 700 НМ
16	141	43,2	6 колец 31×18×7 700 НМ

честве высокочастотной развязки. Устройство кабельного дросселя показано на рис. 64. Основой его является ферритовое кольцо, вокруг которого намотан миниатюрный коаксиальный кабель. Кабельный дроссель заключен в кожух, который прикрепляется к противовесу. Описанный в литературе («Электроника» 1966, № 12) кабельный дроссель был эквивалентен включению в оплетку кабеля сопротивления 5 *ком* в полосе частот от 8,8 до 25,6 *Мгц* при индуктивности дросселя равной 59,2 *мкгн*. Ферритовое кольцо, использованное в дросселе, имеет достаточно высокую магнитную проницаемость, что обеспечивает значительное реактивное сопротивление. Сочетание большой индуктивности и распределенной собственной емкости кабельного дросселя обеспечивает высокое сопротивление образовавшегося резонансного контура. Сопротивление магнитных потерь дросселя расширяет полосу пропускания контура, а следовательно, и область симметрирования. Частотный диапазон кабельного дросселя зависит от его собственной емкости, которая составляет единицы пикофарад.

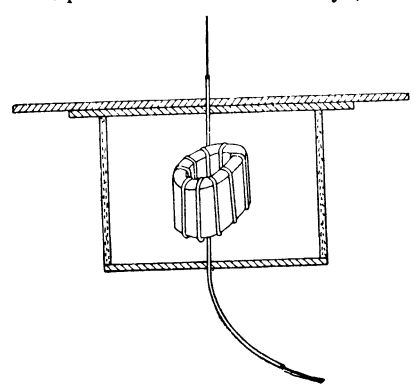


Рис. 64. «Кабельный» дроссель.

16. Широкодиапазонная телевизионная антенна

С изменением частоты принимаемых сигналов входное сопротивление обычной антенны также изменяется. Вследствие этого ухудшается передача энергии через фидер, так как нарушается согласование антенны с фидером.

Антенна соединяется с телевизором длинным фидером. При отсутствии согласования антенны с фидером, помимо уменьшения уровня сигнала на входе телевизора, на его экране может возникнуть несколько сдвинутых изображений. Обычная антенна с длиной диполя 3 *м*, настроенная на сигнал первой программы, имеет входное сопротивление, близкое к 75 *ом*, и хорошо согласуется с высокочастотным кабелем, волновое сопротивление которого также равно 75 *ом*. При приеме на эту же антенну сигнала второй программы

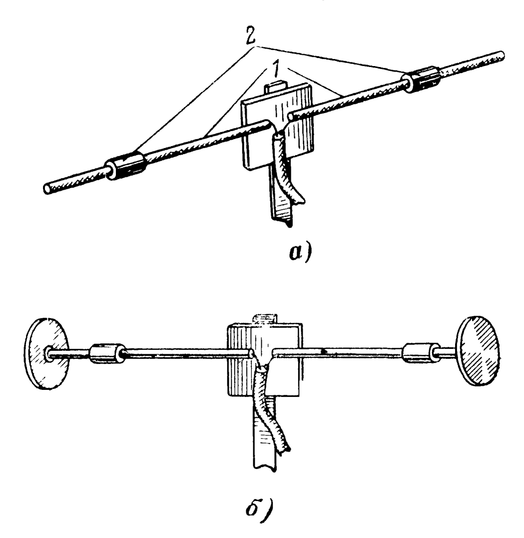


Рис. 65. Широкодиапазонная телевизионная антенна.

а **— эскиз антенны: *1* — полудиполи, *2* — ферритовые кольца; *б* — антенна с емкостной насадкой.**

ее входное сопротивление составляет примерно 400—600 *ом* (в зависимости от диаметра полудиполей), что приводит к нарушению согласования.

Расчеты показывают, что, применяя обычную антенну, трудно получить на крайних частотах диапазона 50—100 *Мгц* коэффициент бегущей волны больше 0,2—0,25.

Надетые на полудиполи *1* антенны ферритовые кольца *2* (рис. 65,*а*), резко увеличивая индуктивность полудиполей, позволяют скомпенсировать их емкостное сопротивление и тем самым существенно уменьшить реактивное сопротивление антенны на концах диапазона и выравнять активное сопротивление. Рост с частотой магнитных потерь выравнивает активное сопротивление антенны в диапазоне частот.

Ферритовые кольца укрепляют при помощи резиновых шайб, плотно насаженных на трубки полудиполей.

Расположение колец и их размеры существенно влияют на величину входного сопротивления антенны. В результате экспериментов были выбраны следующие размеры и марка ферритового кольца

для антенны на диапазон частот 50—100 *Мгц*: наружный диаметр 28 *мм*, внутренний диаметр 18 *мм*. Высота кольца 25 *мм* при использовании феррита марки 1000 НН или 30 *мм* при феррите марки 600 НН, длина полудиполя 85 *см*. Размеры полудиполей выбираются так, чтобы длина антенны была равна половине длины самой короткой волны диапазона.

В зависимости от требуемой величины активного сопротивления (60, 100 или 150 *ом*) расстояния от концов полудиполей до колец выбирались равными 250, 500 и 700 *мм*. При использовании фидеров с соответствующими волновыми сопротивлениями коэффициент бегущей волны оказался не хуже 0,6—0,65. В случае, если требуется расширить диапазон согласования антенны, на конце полудиполей надевают емкостные насадки-диски, увеличивающие емкость антенны (рис. 65,*б*).

ГЛАВА ШЕСТАЯ

НОВЫЕ ТИПЫ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

17. Комнатные телевизионные антенны

При рассмотрении комнатных телевизионных антенн полезно провести аналогию из истории приемных антенн для радиовещательных приемников. На ранней стадии развития приемников при малой чувствительности их и при небольших мощностях передающих радиостанций приемные антенны выносились на крыши зданий, поднимались на шесты, деревья и т. п. Позднее перешли к комнатным антеннам в виде куска провода, протягиваемого по стенам комнат, и, наконец, теперь приемники выпускают со встроенными в них ферритовыми антеннами.

Сравнивая радиовещательные антенны с телевизионными, можно сказать, что телевизионные антенны находятся на второй стадии своего развития. Применяемые в настоящее время комнатные телевизионные антенны представляют собой простейший вибратор из провода или штырей. Такие антенны из-за специфических особенностей распространения ультракоротких волн даже в условиях достаточной напряженности поля внутри помещения не всегда обеспечивают высококачественный прием, так как поле в этом случае в результате сложения прямой и отраженной волн неравномерно по амплитуде и фазе, что не позволяет полностью использовать действующую высоту антенны. Кроме того, поскольку симметрирование комнатной антенны применяется редко, она практически несимметрична и вследствие этого почти не обладает направленностью.

Использование ферритовой антенны помогло бы устранить большинство недостатков обычных комнатных антенн. Действительно, будучи неизмеримо более компактной, ферритовая антенна не портит вида комнаты, может быть вмонтирована непосредственно в телевизор, ориентировать ее при приеме горизонтально поляризованных волн не требуется, она является в высшей степени симметричной.

Основным, однако, при решении вопроса о целесообразности внедрения такой антенны является получение достаточной эффективности ее, сравнимой с эффективностью горизонтального вибратора. При определении эффективности ферритовой телевизионной антенны следует учитывать, что для высококачественного воспроизведения

изображения полоса пропускания должна составлять 5—6 *Мгц*. Ширина полосы пропускания и добротность антенного контура связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью, и, следовательно, чем шире требуемая полоса частот, тем ниже добротность и в конечном итоге эффективность антенны.

Расширение полосы может быть достигнуто путем шунтирования антенного контура активным сопротивлением в 3—4 *ком* (для первого канала) или 5—6 *км* (для третьего канала). Добротность контура при этом не превышает 10—12. Входное сопротивление высокочастотных усилительных ламп, применяемых в современных телевизорах, имеет величину, сравнимую с величиной шунтирующего сопротивления, и поэтому антенна может подключаться непосредственно к входной лампе. Недостатками в этом случае являются пологая частотная характеристика контура и малая эффективность антенны в целом.

Лучшие результаты получаются в случае применения связанных антенн. Расчет показывает, что при наличии сильной связи между двумя одиночными контурами можно получить ширину полосы пропускания около 4 *Мгц* на частоте 52,5 *Мгц*, если добротность контуров составляет 25. Применение связанных контуров дает выигрыш по напряжению больше чем в 2 раза по сравнению с простым шунтированием. Кроме того, поскольку оба контура являются активными, т. е. э. д. с. от внешнего поля наводятся в каждом из них независимо, выигрыш увеличивается в еще большее число раз. Ограничение полосы пропускания антенны шириной в 4 *Мгц* при относительно крутых скатах резонансной характеристики оказывает положительное влияние на помехоустойчивость телевизионного изображения.

Вторая трудность, возникающая при конструировании ферритовой телевизионной антенны, заключается в необходимости перестройки антенны с одного канала на другой. При небольшом числе каналов (два-три) перестройка антенны может осуществляться подключением отдельных антенн или их переключением. Это оказывается значительно выгоднее, чем переключение витков, применяемое в радиоприемниках.

На рис. 66 показан внешний вид двухпрограммной ферритовой комнатной телевизионной антенны. Электрическая схема ее приведена на рис. 67. Конструктивно она представляет собой устройство из двух отдельных антенн (первого и третьего каналов).

Антенна для первого канала состоит из двух пар параллельно расположенных и индуктивно связанных между собой катушек с ферритовыми сердечниками. Каждая пара катушек с помощью куметра настраивается подстроечными конденсаторами (C_1 и C_2) на частоту 52,5 *Мгц*. Коэффициент взаимоиндукции M между ними подбирается изменением расстояния между сердечниками, которое обычно не превышает 4 *см*. Антенна для третьего канала выполнена по более простой схеме и образует одиночный контур. Это объясняется, во-первых, более высокой частотой настройки (76 *Мгц*) и, во-вторых, рядом конструктивных соображений.

Для антенны первого канала применяются ферритовые стержни с проницаемостью 20. Размеры их могут быть разными (например, длиной 100 и диаметром 10 *мм* для обеих антенн). Для антенны третьего канала могут служить ферритовые стержни с проницаемостью 15. Их можно изготовить из двух половинок ферритового стержня Ф-20, скрепленных полистироловой прокладкой. Такой сер-

дечник с зазором 1,5 *мм* позволяет получить добротность спаренной антенны порядка 40 при частоте 76 *Мгц*.

Катушки антенны первого канала намотаны на цилиндрическом каркасе из органического стекла длиной 40 *мм* и имеют внутренний диаметр 10 и внешний 13 *мм*. Каждая из них содержит 14—15 витков провода ПЭЛ 0,15 — ПЭЛ 0,3 и намотана прогрессивным шагом, равномерно увеличивающимся от средней части катушки (шаг 1 *мм*) к концам ее (шаг 5 *мм*). Витки укладывают в бороздах глубиной до 0,5 *мм*, выпиленных на каркасе катушки трехгранным напильни-

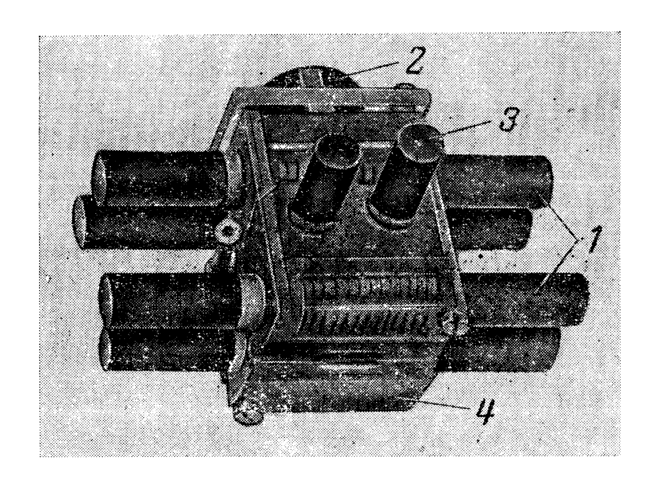


Рис. 66. Внешний вид двухпрограммной ферритовой телевизионной антенны.

1 — антенна первой программы; *2* — барабан переключателя; *3* — антенна второй программы; *4* — держатель.

ком. Концы провода закрепляют на краях суровой ниткой. Антенные катушки третьего канала, содержащие по 8—10 витков, изготовляют точно так же.

Отдельные части держателя антенны стягивают четырьмя винтами, расположенными в углах и проходящими через все четыре пластины держателя. Конденсаторы подстройки антенных контуров могут быть укреплены на внутренних пластинах держателя, при этом во внешних пластинах должны быть просверлены сквозные отверстия, позволяющие подстраивать контур. Емкость подстроечных конденсаторов (2—7 *пф*) может быть при необходимости уменьшена путем последовательного включения с ними конденсаторов постоянной емкости.

Наиболее сложным при конструировании телевизионной ферритовой антенны является выбор схемы ее включения. В простой антенне, показанной на рис. 67, связь антенн с входными лампами осуществляется с помощью катушек, концы которых выведены на переключатель каналов. Витки этих катушек (5—6 витков для первого канала и 3—4 витка для третьего) наматывают непосредственно на стержень антенны.

Недостаток подобной схемы заключается в необходимости переделки входа телевизионного приемника, так как катушки связи должны подключаться непосредственно к сетке входной лампы. Антенна при этом должна быть размещена в непосредственной близости от входной лампы, т. е. внутри телевизора. Подсоединение к одному из связанных антенных контуров емкости сопротивления соединительных проводов и входа лампы изменяет его параметры. Поэтому во втором контуре, не связанном с лампой, необходимо предусмотреть компенсирующие элементы в виде дополнительных сопротивлений и емкости, величина которых подбирается.

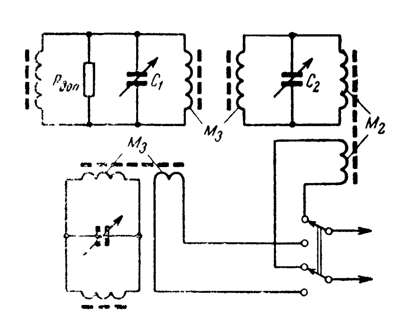


Рис. 67. Электрическая схема двухпрограммной антенны.

Более удобна в эксплуатации, но более сложна в изготовлении антенна с катодными повторителями или антенными усилителями. Ее достоинство — возможность подсоединения с помощью коаксиального кабеля к стандартному несимметричному входу телевизора, а ее недостаток (в ламповом варианте) — необходимость подачи питания на катодные повторители. Схемы таких антенн, собранных на экономичных лампах типа 1Ж17Б, представлены на рис. 68. Для простоты антенна каждого канала показана здесь условно без специфических особенностей. Переход с одного канала на другой осуществляется переключением напряжения накала ламп. Как видно из рис. 68, антенна включена здесь по симметричной схеме, что повышает эффективность антенны и улучшает ее диаграмму направленности. Трансформатор, применяемый в схеме на рис. 68, описан выше. Источники питания (1, 2 и 40 *в*) катодных повторителей могут быть размещены как в телевизоре, так и прямо под антенной.

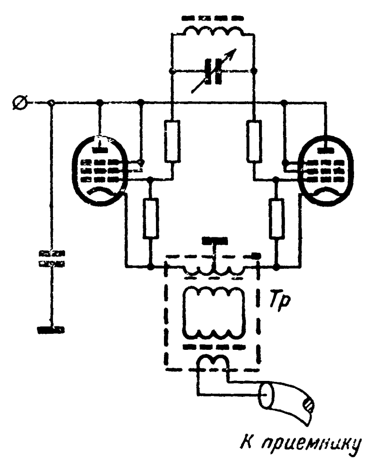


Рис. 68. Схема включения комнатной ферритовой антенны.

Как известно, большинство наших телецентров излучают горизонтально поляризованные волны, и для приема таких волн ферритовые антенны должны устанавливаться вертикально. Внутри помещения электромагнитное поле имеет как вертикальную, так и горизонтальную поляризации, и поэтому выбор соответствующего положения ферритовой антенны должен производиться опытным путем

по качеству изображения. Следует иметь в виду, что диаграмма направленности ферритовой антенны при приеме горизонтально поляризованных волн круговая, т. е. антенна всенаправленна.

Компактная ферритовая антенна, в которой используются катодные повторители, может быть очень удобно установлена в комнате. В частности, она может быть помещена в оконном проеме, где напряженность поля значительно выше, чем внутри комнаты. Экспериментальная проверка показывает, что даже простейшая ферритовая антенна (без катодных повторителей) обеспечивает удовлетворитель-

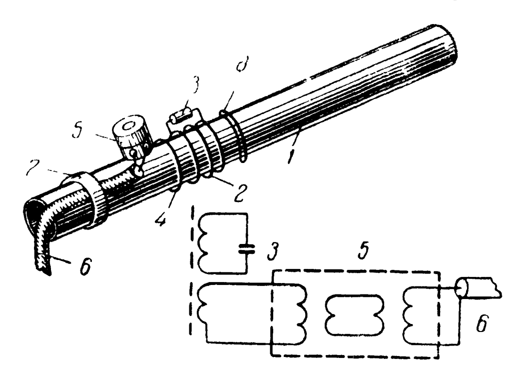


Рис. 69. Апериодическая телевизионная антенна.

ный прием передач как в самой Москве, так и на расстоянии до 20 *км* от нее.

Более проста по конструкции апериодическая комнатная антенна, обладающая почти такими же приемными свойствами, как и настроенная антенна, но не требующая предварительной настройки. Апериодическая антенна состоит из ферритового сердечника с магнитной проницаемостью 400 или 250, антенной катушки, намотанной на каркасе, витка связи и симметрирующего трансформатора с индуктивным шлейфом, описанного ранее. Эскиз такой антенны и электрическая ее схема приведены на рис. 69. Сердечник антенны *1* длиной 240 *мм* набран из цилиндрических столбиков диаметром 14,5 и высотой 16 *мм*, изготовленных из феррита 400НН. Он помещен в винипластовую трубку с внешним диаметром 20 *мм* и зажат с двух сторон ввинчиваемыми в трубу пробками. Антенная катушка *2*, состоящая из трех витков провода ПЭ 0,8, намотанного с шагом 10 *мм*, соединена с конденсатором *3* емкостью 2—7 *пф*. Виток связи *4* расположен вблизи от антенной катушки; его концы выведены на трансформатор *5*, который подсоединяется к коаксиальному кабелю *6* (РК-1 длиной около 1 *м*), идущему к телевизору. Хомутик *7* предохраняет выводы трансформатора от обрыва. К оплетке кабеля подпаивается и корпус трансформатора. Трансформатор понижающий: первичная обмотка имеет 12 витков, вторичная — 3.

Антенна располагается на верхней крышке телевизора. Направленные свойства выражены в условиях комнатного приема слабо (как, впрочем, и у всех других комнатных антенн). Такая антенна на частоте первой программы несколько уступает, а на частоте вто-

рой программы равна по приемным свойствам наиболее распространенной комнатной штыревой антенне и обеспечивает уверенный прием обеих программ московского телецентра в Москве и пригородах.

В качестве элемента подстройки в этой антенне можно рекомендовать короткозамкнутый виток *8*, помещаемый с противоположной (от витка связи) стороны антенной катушки. Виток изготовлен из толстого медного провода диаметром 1—2 *мм*, его можно перемещать вдоль сердечника. Приближение витка к антенной катушке уменьшает его индуктивность и потери, т. е. повышает резонансную частоту антенны. Эксплуатация описанных выше комнатных телевизионных ферритовых антенн в радиолюбительской практике выявила некоторые недостатки ее. Они связаны прежде всего с трудностями, возникающими при согласовании и симметрировании, а также жесткой связью всех параметров, затрудняющих внесение конструктивных изменений в антенну.

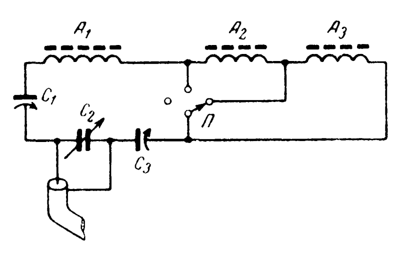


Рис. 70. Перестраиваемая комнатная антенна.

Эти трудности можно преодолеть путем изменения связи антенны, сделав ее более гибкой, регулируемой и вместе с тем попутно решая задачу по обеспечению необходимой симметрии. Схема такой перестраиваемой комнатной антенны представлена на рис. 70. Она предназначена для приема телевизионных передач по первым шести каналам телевидения, хотя в принципе может быть сконструирована и для более высоких частот при условии замены магнитоприемников.

Активная часть антенны состоит из трех сердечников с антенными катушками, соединенными последовательно. Точки соединения отдельных антенных катушек выведены на переключатель программ. Сердечники антенн выбраны разными с целью обеспечения необходимой ширины полосы пропускания на каждом из каналов.

Так, сердечник антенны A_3, работающий на 1-м канале совместно с антеннами A_2 и A_1, выполнен из материала 150ВЧ и имеет добротность порядка 5—6 на частоте $f=50$ *Мгц* (диаметр 10, длина 120 *мм,* число витков 2). Сердечник антенн A_2 и A_1 были выполнены из высокочастотных ферритов: сердечник антенны A_2 из трех стержней марки 50ВЧ, объединенных вместе (диаметр стержня 8, длина 80 *мм*), а сердечник A_1 — из материала 30ВЧ2 (диаметром 14, длина 120 *мм*). Антенные катушки имели по два витка, шаг намотки 10 *мм.* Общая индуктивность всех трех антенн 1,2 *мкгн.*

Настройка антенны и регулировка ее симметрии производятся с помощью элементов емкостной связи — конденсаторов C_1, C_2 и C_3. Конденсаторы C_1 и C_3 — полупеременные с пределами изменения емкости от 4 до 15 *пф.* Конденсатор C_2 — переменный, желательно дифференциальный с пределами изменения емкости от 40 до 100 *пф.*

18. Апериодическая антенна автомобильного приемника

Антенна автомобильного приемника работает в специфических условиях. Прежде всего на приемные свойства антенны влияет металлический корпус автомобиля. Это влияние сказывается в изменении ее входного сопротивления по сложным зависимостям, что за-

трудняет задачу ее согласования. Наличие кузова приводит к ослаблению электрической напряженности поля в месте расположения антенны. На рис. 71 приведена схема эквивалента автомобильной штыревой антенны.

Кроме того, при движении автомобиля в черте города в приемнике возникают многочисленные помехи, ухудшающие качество приема. К числу таких помех можно также отнести и помехи от системы зажигания. Естественной поэтому явилась попытка изготовления магнитной антенны, которая при условии обеспечения надлежащей эффективности позволила бы устранить эти недостатки.

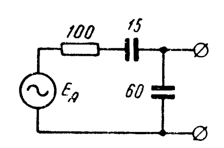


Рис. 71. Эквивалент штыревой автомобильной антенны.

В качестве такой антенны была испытана апериодическая ферритовая антенна, которая была разработана автором совместно с Б. Н. Соловьевым. Схема и конструкция антенны представлена на рис. 72.

Ферритовая антенна (рис. 72,*а*) состоит из двух параллельных ферритовых стержней (*1*, *2*), на которых секциями (*3*, *4*) намотаны антенные катушки. Секции содержат одинаковое число витков и соединяются между собой конденсаторами *5*; направления обмотки на каждом стержне разные. Антенные катушки нагружены с одной стороны на балластное сопротивление $R_н$ (*6*), с другой стороны подключаются к фидеру или входу приемника.

Электрическая схема антенны представлена на рис. 72,*б*. Индуктивность секции $L_с$ и емкость соединительного конденсатора $C_с$, а также величина балластного сопротивления $R_н$ выбираются так, чтобы в антенне установился режим бегущей волны. Для этого необходимо, чтобы

$$\sqrt{\frac{2L_с}{C_с}} \cong R_н.$$

Число секций n выбирается так, чтобы разность фаз между напряжением, наведенным внешним полем в n-й секции антенн, и напряжением в первой секции была не более чем 270°, т. е.

$$n = \frac{270 - \varphi}{\varphi},$$

где величина фазового сдвига принимаемого сигнала в одиом звене равна

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{1}{\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0}},$$

где ω_0 — резонансная угловая частоты, определяемая по формуле

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{2L_сC_с}}.$$

Приведенные формулы позволяют сконструировать ферритовую антенну бегущей волны для диапазона частот. Так антенна для диапазона средних и длинных волн от 0,2 до 1,6 *Мгц* представляла

собой два ферритовых стержня марки 700НН сечением 20×5 *мм* и длиной 200 *мм*. Четыре секции антенных катушек (по 8 витков в каждой) распределены равномерно по стержню на расстоянии 3,5 *см* друг от друга и соединены конденсаторами емкостью $C=60$ *пф*. Сопротивление нагрузки 800 *ом*.

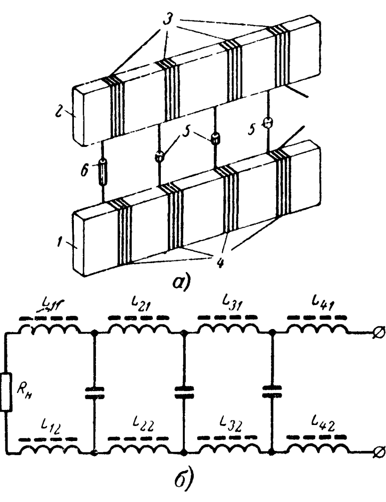


Рис. 72. Ферритовая антенна автомобильного приемника.

Эффективность антенны (ее действующая высота) проверялась в стандартном поле. Измерения входного сопротивления антенны производились импедансметром «Маркони». Результаты измерений приведены на рис. 73. Как видно из графиков, действующая высота антенны сравнима (несколько меньше) действующей высоты автомобильной антенны и обладает высоким постоянством выходного сопротивления. Окончательное суждение о целесообразности замены штыревой антенны на ферритовую могло быть вынесено после экспериментальной проверки на автомобиле. Для выбора места расположения ферритовой антенны при размещении ее в салоне необходимо было согласовать антенну с длинным фидером ($l_ф=3$ *м*). В качестве согласующего трансформатора использовался трансформатор с индуктивным шлейфом и коэффициентом трансформации, равным 3. Антенна проверялась в автомобиле «Москвич 407» и располагалась за спинкой заднего сидения (под стеклом заднего

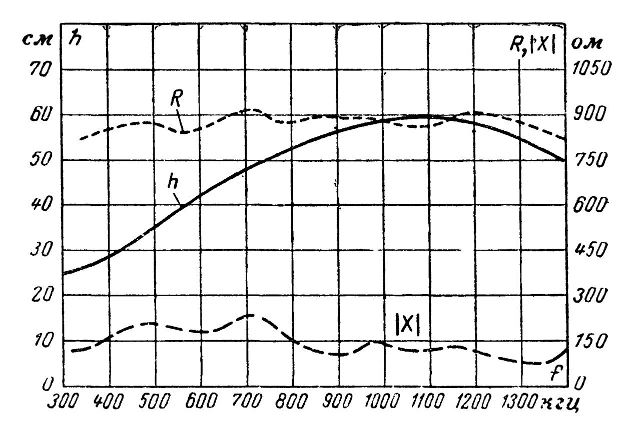


Рис. 73. Действующая высота и входное сопротивление ферритовой антенны автомобильного приемника.

вида). Испытание антенны проводилось путем сравнения качества приема отдаленных станций средневолнового диапазона на ферритовую и стандартную штыревую антенны. Судя по количеству принимаемых станций, эффективность обеих антенн была одинаковой, хотя качество приема с ферритовой антенной было лучше, особенно в черте города.

19. Антенны для «охоты на лис»

Соревнования, известные под названием «охота на лис», завоевали большую популярность среди радиолюбителей. Идея таких соревнований состоит в том, чтобы в течение кратчайшего времени с помощью радиоприемника с направленной антенной найти замаскированный передатчик («лису»).

Охотнику на «лису» необходимо уметь изготовить малогабаритный экономичный приемник с хорошо направленной антенной. В конструкции такой антенны обычно объединяются простейшая направленная антенна (рамка) с ненаправленной (вертикальным штырем). Однако и в этом случае для получения высокой чувствительности необходимые размеры антенн получаются во много раз больше размеров приемника. Гораздо лучшие результаты дает применение ферритовой антенны. При этом легко получить и однонаправленность антенны без каких-либо добавочных конструктивных устройств.

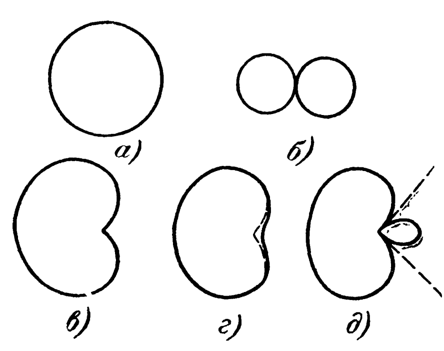


Рис. 74. Диаграммы направленности антенны приемника для «охоты на лис».

Рассмотрим более подробно, как получается однонаправленная диаграмма в случае использования комбинированной антенны (рамки и штыря). Поскольку диаграмма направленности рамки — «восьмерка» (рис. 74,*б*), то однонаправленная диаграмма — кардиоида (рис. 74,*в*) может быть получена при сложении обоих сигналов — от рамки и от штыря (рис. 74,*а*) лишь тогда, когда э. д. с. их равны и фазы совпадают. Последнее должно быть создано искусственным путем, так как обычно фазы различаются на угол $\pi/2$. Равенства амплитуд добиваются изменением действующей высоты штыря, а искусственного сдвига фазы — выбором вида связи обеих антенн (связь обычно берется индуктивной). Недостаток антенны — узкий рабочий диапазон, поэтому степень связи или амплитуду сигналов надо регулировать на каждой из рабочих частот, так как иначе пропадает нулевой прием (рис. 75,*г*) или образуются два минимума (рис. 75,*д*).

Применение ферритовой антенны, расположенной достаточно близко от оператора, позволяет «использовать» корпус оператора как переизлучатель («штырь») При этом связь между антеннами — ферритовой и ненаправленной (телом оператора) — легко регулируется выбором соответствующего расстояния между ними. Наилуч-

шая однонаправленность такой антенны получается в диапазоне метровых волн.

Ниже описывается ферритовая антенна приемника, предназначенного для «охоты на лис» в диапазоне 28—29 *Мгц*. Антенна собирается на двух стержнях из феррита 20ВЧ диаметром 12 и длиной 150 *мм*. Антенные катушки стержней наматывают на полистироловый каркас прогрессивным шагом, так же как и в телевизионной антенне. Индуктивность катушки антенны составляет около 2,5 *мкгн*. Число витков в каждой катушке 18—20. Длина катушки 35—40 *мм*. На входе в таком приемнике целесообразно использовать лампу 1Ж17Б или 1Ж18Б. Ферритовую антенну следует включить по схеме с емкостным переходом (с разделительным конденсатором емкостью 5—6 *пф*). Длина соединительных проводов должна быть минимальной (не более 20—30 *мм* от антенны до сетки лампы). Приемник желательно изготовить небольшим. Обычно он подвешивается с помощью ремней на груди охотника за «лисами».

Несколько советов, полезных при использовании такой антенны для «охоты на лис». Как уже говорилось, диаграмма направленности, точнее однонаправленность, регулируется изменением расстояния между телом оператора и антенной. Наилучшая диаграмма с выбранной антенной получается при расстоянии 3—4 *см* от корпуса оператора. Следует иметь в виду, что при приближении к передатчику сигнал даже на «минимуме» диаграммы направленности, т. е. при расположении оператора спиной к объекту поиска, возрастает настолько, что становится трудно отличить максимум от минимума. Чтобы облегчить поиски в этих условиях, целесообразно на время уменьшить чувствительность приемника. Это легко сделать, уменьшив анодное напряжение в усилителе промежуточной частоты.

Некоторые затруднения возникают при «охоте на лис» в лесу. Особенно это относится к крупноствольному лесу, где деревья отстоят друг от друга на 3—5 *м*. Поле электромагнитных волн имеет в этом случае интерференционный характер, что проявляется как в изменении силы сигнала, так и в изменении направления на передатчик, определяемого с помощью поискового приемника. В частности, если крупное дерево находится справа от оператора (на расстоянии до 3—4 *м*), то и направление прихода радиоволн отклонится вправо, если сзади, то минимум диаграммы «притупится». Целесообразно для более точного определения направления выбирать открытые места (просеки и поляны), а затем, выбрав ориентир или определив азимут передатчика, двигаться до следующего открытого места.

Ферритовые антенны для «охоты на лис» могут быть сконструированы и на другие любительские поддиапазоны: 3 и 144 *Мгц*. Изготовление ферритовой антенны на 3 *Мгц* очевидно не вызовет трудностей, поскольку ее конструкция мало чем отличается от обычной средневолновой антенны.

Единственным затруднением будет обеспечение однонаправленной диаграммы. Естественной связи антенны с корпусом оператора недостаточно и, поэтому следует предусмотреть небольшой штырь, подключаемый ко входу приемника с помощью переключателя.

Более сложно изготовить антенну на диапазон 144 *Мгц*, где обычно применялись многовибраторные антенны.

Применение для «охоты на лис» в радиолюбительском УКВ диапазоне 144 *Мгц* направленных антенн типа «волновой канал» или

с логопериодической структурой неудобно, так как их поперечные линейные размеры достигают одного, а продольные — двух метров. С такими антеннами затруднено передвижение спортсмена, особенно в лесу или кустарнике. К тому же на определение направления оказывает влияние и положение спортсмена относительно антенны.

Значительно эффективнее применение магнитной антенны, хорошо зарекомендовавшей себя при соревнованиях «охота на лис» на КВ и УКВ диапазонах.

В магнитной УКВ антенне (рис. 75) катушка заменена охватывающим стержень из феррита марки 30ВЧ2 объемным витком, который настраивается в резонанс пятью конденсаторами, равномерно

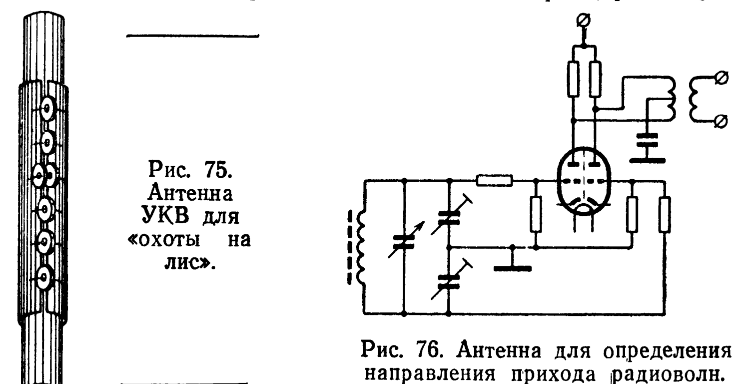


Рис. 75. Антенна УКВ для «охоты на лис».

Рис. 76. Антенна для определения направления прихода радиоволн.

распределенными по длине щели объемного витка. Размеры сердечника: длина 80, диаметр 8 *мм*.

Объемный виток представляет собой разомкнутый цилиндр из листовой латуни (тонкой жести или фольги) с длиной по образующей цилиндра 50 *мм*. Он располагается на сердечнике симметрично, так что длина выступающих концов сердечника составляет около 15 *мм*, ширина щели 2—3 *мм*. Во избежание перемещения объемного витка его можно приклеить к сердечнику клеем БФ-4 или зажать вместе с сердечником в держатель, изготовленный из хорошего диэлектрика. Вблизи антенны нельзя помещать какие-либо металлические части, которые могут образовывать паразитные контуры.

Конденсаторы припаивают к краям щели. Их выводы не должны превышать 3 *мм*. Лучшими конденсаторами для этой цели являются дисковые. Крайние конденсаторы, а также один из средних (например, *4*) должны иметь емкость по 6,2 *пф*.

Второй средний конденсатор состоит из последовательно соединенных конденсаторов, причем емкость первого равна 8 *пф* и второго 20—25 *пф*. Конденсатор с большей емкостью является элементом связи антенны со входом приемника, к нему припаивают провода, идущие к базе и эмиттеру транзистора входного каскада. Конденсаторы располагают один от другого и от концов объемного витка на расстоянии 10 *мм*. Точная настройка антенны осуществляется перемещением одного из конденсаторов вдоль щели; приближая его к составной емкости, мы понижаем частоту настройки, отдаляя — повышаем. Добротность антенны 70—80, входное сопротивление 150—170 *ом*.

Изменяя расстояние между телом оператора и антенной, можно получить диаграмму направленности нужного вида.

20. Ферритовые антенны для определения направления распространения радиоволн

При описании различных антенных устройств на ферритах основное внимание уделялось эффективности антенны. Однако в ряде случаев хорошие направленные свойства антенны становятся основным, решающим фактором, обусловливающим необходимость применения ферритовой антенны.

Ниже описывается простейшая ферритовая антенна для определения направления прихода радиоволн (азимута) на частоте 40 *Мгц*. В такой антенне необходимо принять специальные меры, предотвращающие искажение диаграммы направленности, а также влияние самого оператора на результаты радионаблюдения. Азимут радиопередатчика определяется установкой антенны в такое положение, когда сила сигнала минимальна. Это положение антенны относительно направлений магнитного меридиана отмечается по специальной угловой шкале (лимбу) в градусах.

Электрическая схема антенны приведена на рис. 76. Антенный контур (три антенные катушки, намотанные на трех параллельных стержнях, и дифференциальный конденсатор) подключен ко входу двухтактной схемы. В анодной его цепи включен симметрирующий трансформатор, обеспечивающий переход от симметричной схемы к несимметричному кабелю. В этом каскаде может быть использован двойной триод 6Н3П или же две лампы 1Ж17Б. Кабель подключен к несимметричному входу обычного приемника. В сеточные цепи триодов включены резисторы типа УЛИ сопротивлением в несколько ом для предотвращения самовозбуждения.

Для устранения антенного эффекта антенный контур вместе с входными лампами и трансформатором заключен в металлический экран со щелью, параллельной антенным стержням. При монтаже устройства следует предусмотреть максимальную блокировку цепей питания накала и анода по высокой частоте. Поворотное устройство антенны должно обеспечивать поворот на угол до 200°. В нем необходимо установить упоры, предохраняющие кабель от перекручивания.

К выбору стержней для антенны следует подходить с точки зрения получения максимальной ее эффективности. Хорошие результаты дает антенна, собранная на стержнях диаметром 25 *мм* с проницаемостью 20. Длина сердечников 250 *мм* (они собраны из четырех столбиков длиной 60—65 *мм* каждый), число витков антенных катушек равно 12 при шаге намотки 10 *мм*, общая индуктивность 1 *мкгн*.

Неудобство описанной схемы заключается в необходимости дополнительной подстройки. После поиска нужной радиостанции на ненаправленную антенну для определения направления следует произвести переключение с этой антенны на ферритовую, которую после этого надо подстроить.

Определить направление можно и с помощью ненастроенной антенны. Антенная катушка при этом связывается коротким кабелем с входным контуром, который и настраивают на радиостанцию. Кроме поворотной магнитной антенны иногда делают и неподвижную антенную систему из ферритовых антенн, используя в этом случае гониометр. Антенная система в этом случае представляет

собой две взаимно перпендикулярные антенны. Выводы каждой антенной катушки подсоединяют к неподвижным катушкам гониометра, в то время как «поисковая» катушка, являющаяся как бы поворотной антенной, входит во входной контур.

Описанный в зарубежной печати коротковолновый гониометрический пеленгатор с ферритовыми антеннами имел две группы по восемь ферритовых антенн в каждой. Сердечники антенн длиной около 30 и диаметром 1,5 *см* располагались в двух «этажах» (сердечники одной группы над сердечниками другой). Размеры такой системы в собранном виде составляли 350×350×40 *мм*.

Большой интерес представляет использование ферритовых антенн в морском пеленгаторе, разработанным фирмой «Телефункен». Этот пеленгатор (тип PR-812) предназначен для определения направления электромагнитных волн, распространяющихся земным лучом в диапазоне 0,25—30 *Мгц*. Следует отметить, что недостатком магнитных антенн при их использовании для пеленгации является появление ошибок при условии, что волны приходят к пеленгатору под некоторым углом к земной поверхности и имеют ненормальную поляризацию.

Корабельным радиопеленгатором, издавна используемым в целях навигации, свойственны некоторые особенности. К числу основных особенностей относятся: влияние металлического корпуса корабля на точность пеленгации; близость к антенне ряда металлических предметов, размещаемых на палубе; ограниченность места для установки антенны.

Применявшиеся до недавних пор морские пеленгаторы характеризовались невысокой точностью (среднеквадратичная ошибка 1,5°), ограниченным частотным диапазоном и сложностью обработки результатов из-за необходимости использования девиационных (поправочных) данных, учитывающих указанные особенности корабельных радиопеленгаторов. Как правило, судовые радиопеленгаторы не были автоматическими, т. е. процесс взятия пеленга осуществлялся вручную, что требовало дополнительного времени. В качестве антенны в этих пеленгаторах использовалась поворотная настроенная рамка небольших размеров, укреплявшаяся непосредственно на приемном устройстве.

Автоматический пеленгатор PR-812 имеет следующие конструктивные особенности: расположение антенны на самой высокой точке корабля (верхушке мачты); совмещение направленной и ненаправленной антенн в единой конструкции; дистанционное управление антеннами.

Расположение антенны вдалеке от местных предметов и значительная высота над уровнем моря позволили получить высокую чувствительность и точность пеленгации.

Направленная антенна пеленгатора представляет собой две ферритовые антенны, расположенные взаимно перпендикулярно (одна над другой). Каждая антенна состоит в свою очередь из двух параллельно расположенных одиночных антенн, антенные катушки которых включаются параллельно. Антенные катушки одиночной антенны выполнены из медной фольги в виде двух секций по три витка, каждая из которых расположены на расстоянии 1/3 длины сердечника от концов его. Секции включены также параллельно.

Сердечники антенны имеют форму бруска длиной 720 *мм* с прямоугольным сечением. Соотношение l/d для сердечника равно 30,

Сердечники выполнены из феррита с начальной магнитной проницаемостью $\mu_0=300$.

Ферритовая антенна является апериодической, т. е. в самой антенне не предусмотрена какая-либо настройка ее. Органами управления антенной являются 12 высокочастотных реле, часть из которых переключает витки антенных катушек в целях лучшего согласования антенны с фидером, идущим к приемнику.

Ферритовые антенны заключены в водонепроницаемый кожух из пластмассы, имеющий биконическую форму (рис. 77). На внутренней поверхности кожуха размещена вспомогательная широкодиапазонная ненаправленная антенна оригинальной конструкции, предназначенная для разрешения неоднозначности пеленгов. Антенна изготовлена из полосок фольги, наклеенных на стенке корпуса так, чтобы они образовали два полудиполя, сужающихся к вершинам. Одновременно с этим ненаправленная антенна играет роль электростатического экрана, что позволяет устранить антенный эффект.

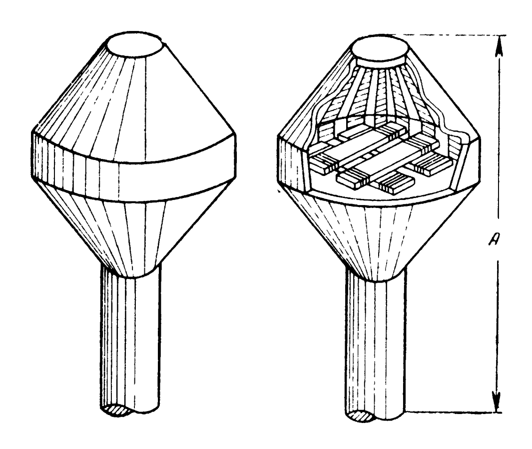


Рис. 77. Антенна PR-812.

Как видно из описания конструкции антенны, в ней широко используется параллельное включение антенных катушек, что позволяет значительно снизить индуктивность. Этому же способствует использование фольги вместо провода в антенных катушках. Применение относительно высокопроницаемого сердечника с большим активным сопротивлением потерь на частотах свыше 7—8 *Мгц* сглаживает резонансные явления на высоких частотах, в то же время на длинных волнах очевидно применена подстройка входа. Комплекс упомянутых мер в сочетании с переключателем витков на каждом из 10 поддиапазонов приемника позволяет добиться удовлетворительного коэффициента передачи во всем частотном диапазоне. Устройство ферритовой антенны PR-812 представляет собой наглядный пример широкого использования целого ряда мероприятий, позволяющих добиться высокой эффективности антенны в сложных условиях.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ХОМИЧ ВАДИМ ИВАНОВИЧ
Ферритовые антенны

Редактор В. В. Иванов
Обложка художника Н. Т. Ярешко
Технический редактор Г. С. Юдаева
Корректор З. Б. Шлайфер

Сдано в набор 5/V 1969 г.
Подписано к печати 15/X 1969 г. Т-11571
Формат 84×108$^{1}/_{32}$ Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 5,04 Уч.-изд. л. 6,6
Тираж 30 000 экз. Цена 29 коп. Зак. 2212

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114,
Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Готовятся к печати следующие книги справочной серии:

Голубев Ю. Л. и Жукова Т. В. Справочник по электровакуумным приборам. 15 л. 100 000 экз. 80 к.

Загоровский К. О., Михайлов И. В., Пропошин А. И. 200 схем на лампах и транзисторах. 5 л. 100 000 экз. 20 к.

Ельяшкевич С. А. Телевизоры (справочные материалы). 28 л. 150 000 экз. 1 р. 22 к.

Курбатов Н. В. и Яновский Е. Б. Справочник по магнитофонам. 20 л. 150 000 экз. 90 к.

Онацевич М. А. Двигатели постоянного тока для магнитофонов. 3 л. 30 000 экз. 20 к.

На складе издательства «Энергия» имеется книга А. Г. Соболевского «Тестеры и авометры», Госэнергоиздат, 1963, ц. 9 к.

Заказы направлять по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая набережная, 10, издательство «Энергия», отдел распространения.

Книга высылается наложенным платежом без задатка.

Цена 29 коп.